

SEBASTIÁN PATRICIO DUEÑAS OVIEDO

**VERIFICAÇÃO DO USO DAS VARIÁVEIS VISUAIS TOM DE COR E TEXTURA
EM REPRESENTAÇÕES 3D DE AMBIENTES *INDOOR***

Dissertação apresentada ao Curso de Pós -
Graduação em Ciências Geodésicas da
Universidade Federal do Paraná, como
requisito final à obtenção do título de Mestre
em Ciências Geodésicas.

Orientadores:

Profa. Dra. Luciene Stamato Delazari

Prof. Dr. Daniel Rodrigues dos Santos

**CURITIBA
2014**

Dueñas Oviedo, Sebastián Patricio

Verificação do uso das variáveis visuais tom de cor e textura em representações 3D de ambientes indoor / . – Curitiba, 2014.

92 f. : il.; tabs.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas

Orientadores: Luciene Stamato Delazari, Daniel Rodrigues dos Santos

Bibliografia: p.82-92

1. Imagem tridimensional. 2. Mapeamento digital. 3. Geodésia.
I. Delazari, Luciene Stamato. II. Santos, Daniel Rodrigues. III. Título.

CDD 526.98

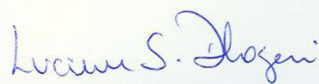
TERMO DE APROVAÇÃO

SEBASTIÁN PATRÍCIO DUEÑAS OVIEDO


"VERIFICAÇÃO DO USO DAS VARIÁVEIS VISUAIS TOM DE COR E
TEXTURA EM REPRESENTAÇÕES 3D DE AMBIENTES INDOOR"

Dissertação nº 272 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

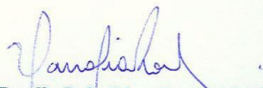
Orientadora:



Profª. Drª. Luciene Stamato Delazari
Departamento de Geomática, UFPR



Prof. Dr. Marcio Augusto Reolon Schmidt
Universidade Federal de Uberlândia, UFU



Profª. Drª. Claudia Robbi Sluter
Departamento de Geomática, UFPR



Profª. Drª. Maria Cecília Bonato Brandalize
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 18 de julho de 2014.

Dedico esse trabalho:
aos meus pais Wilson e Patricia,
à minha irmã Natalia,
à minha companheira de aventuras Ale.

AGRADECIMENTO

Ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná por permitir o desenvolvimento desta pesquisa ao disponibilizar todos os meios físicos para a realização deste trabalho.

Ao Governo da República do Equador, que através da Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación – SENESCYT e do Instituto Ecuatoriano de Crédito Educativo y Becas – IECE forneceu a bolsa de estudos.

À minha orientadora, profa.Dra. Luciene Stamato Delazari, pela ideia inicial que obtive forma aos poucos e resultou neste trabalho. Obrigado pelo conhecimento transmitido e apoio constante em todas as etapas do projeto.

Ao meu co-orientador, prof.Dr. Daniel Rodrigues dos Santos, pelo suporte no processamento computacional e utilização de algoritmos para esta pesquisa.

Aos amigos do LabCarto, que brindaram seu apoio incondicional e foram parte de tantas experiências que ficarão vivas para sempre no meu álbum de lembranças.

A todos os colegas do Curso, pelos bate-papos ocorridos nos corredores que certamente contribuíram com ideias para esta pesquisa e para desabafar o eventual stresse.

RESUMO

Esta pesquisa trata da proposta de simbologia tridimensional para representar ambientes *indoor* valendo-se de um modelo gerado a partir do uso do sensor Microsoft® Kinect. O objetivo foi verificar o uso das variáveis visuais tom de cor e textura, assim como o efeito visual da iluminação, o sombreamento e a configuração da câmera na simbologia. As principais vantagens do sensor utilizado são a sua portabilidade e seu baixo custo no mercado, quando comparado com outras tecnologias existentes como o laser scanner e as câmeras de distância. O Kinect é um sensor que ganhou espaço na comunidade fotogramétrica por permitir a coleta de pontos tridimensionais com valores RGB e de profundidade de forma simultânea, sendo os mesmos armazenados como nuvem de pontos. Nesta pesquisa, a nuvem foi gerada e processada para produzir o modelo 3D do ambiente *indoor*. Superfícies planas foram detectadas através do método RANSAC, e classificadas em três classes predefinidas: chão, parede e teto. A classificação dos planos é baseada nas relações de paralelismo ou perpendicularidade entre os vetores normais aos planos. Em seguida, os planos foram importados no MeshLab, um software de processamento de malhas usado na etapa de reconstrução das superfícies do modelo tridimensional. A etapa de verificação do uso das variáveis visuais aplicadas ao modelo foi feita tanto no MeshLab como no ESRI ArcScene. O potencial de ambos os softwares foi explorado através da geração de várias representações dos ambientes simbolizados, cada uma delas com parâmetros diferentes, os mesmos são a essência da verificação da simbologia 3D para ambientes *indoor*. Para implementar o método proposto foram considerados três ambientes amostrais com características diferentes, de forma a favorecer a verificação dos aspectos da simbologia, visando a determinação dos parâmetros que influenciam positivamente na criação de representações 3D de ambientes *indoor*. Os resultados obtidos mostraram que o tom de cor é uma variável visual dependente da textura, quando aplicada de forma fotorealística, que foi o parâmetro que apresentou melhor resultado. O efeito de visualização da iluminação foi determinante para a representação de ambientes *indoor*, quando aplicada com os feixes de luz em direção à frente das superfícies e com um tom de cor cinza 50%, o mesmo oferece uma visualização equilibrada do ambiente. A configuração da câmera com FOV de 46° mostrou-se apropriada para a representação. Não foi conclusivo o efeito de outros ângulos, no entanto, notou-se uma variação importante ao se aumentar ou diminuir exageradamente o FOV, o qual só ocorreria em situações extremas que não seriam recomendadas para a representação. O aspecto sombreamento não pôde ser verificado devido à falta de sombras. Cada variável visual e cada efeito de visualização influencia na simbolização de ambientes *indoor*, sua aplicação deve ser cuidadosa e com tendência à obtenção de uma representação visual agradável que permita a identificação da cena. Os métodos de geração de modelos 3D e de verificação das variáveis visuais que foram propostos nesta pesquisa mostraram-se satisfatórios e são parte de uma abordagem diferente que pode ser considerada na criação de simbologia 3D de ambientes *indoor*.

ABSTRACT

This research is about 3D symbology proposition for representation of indoor environments based on a Microsoft® Kinect sensor modeling approach. The task was to verify the parameters that define color and texture as visual variables, as well as the effect of illumination, shadows and camera settings, in order to determine its influence in symbology. The main advantages of the sensor are its portability and its relatively low retail price and cost of operation, when compared with other technologies such as laser scanner or range cameras. The Kinect has made it to the top in photogrammetry applications due to its ability to capture RGB and depth data simultaneously of tridimensional points as part of dense point clouds. In this work, the point cloud was generated and processed by computer algorithms mainly developed in the computer vision area. Planar surfaces were detected with RANSAC and then classified under one of these three predefined classes: floor, wall or ceiling. In order to correctly classify the planes, parallelism and perpendicularism conditions between normal vectors and planes were established. After that, all the planes were imported to MeshLab, which is a mesh processing software used in the process of reconstruction of model's 3D surfaces. The next step was the verification process of the visual variables applied to the model. This was made on MeshLab and ESRI's ArcScene software. The capabilities of the proposed software were explored by producing several representations of the symbolized environments, each one with different parameters defining a specific symbology. The application of parameters was considered the essence of the symbology verification. There were three test environments considered for the analysis, each with different characteristics, which is a favorable condition for evaluating symbology and determining the influence of the parameters used for the generation of 3D indoor environment representation. The results showed that color is a dependant variable of texture when applied in a photorealistic manner. Lighting was determinant for indoor representation when applied with a light direction in front of the surface model and as an ambient light with 50% grey color value, giving the ambient an overall balanced visual aspect. The configuration of the camera with an angle value of 46° for the FOV was appropriate for representation, being not conclusive the evaluation of other angles close to that value. Each visual variable and visual effect has an influence on symbolization and though it is important to apply and choose them wisely for application in order to obtain a rich visual representation of the scene that would permit its immediate interpretation and identification by users. The proposed method for 3D model construction and visual variable verification was found satisfactory as part of a new approach for symbolization of indoor environments and is meant to be considered for future research agenda.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01: VISUALIZAÇÃO SIMBOLIZADA (ABSTRATA) DO RELEVO.....	20
FIGURA 02: EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO 3D DE CIDADES	21
FIGURA 03: EXEMPLO DE MODELO CITYGML DE UM ARMAZÉM	21
FIGURA 04: NÍVEL DE ABSTRAÇÃO EM CARTOGRAFIA.....	24
FIGURA 05: ETAPAS DO PROJETO CARTOGRÁFICO 3D	25
FIGURA 06: AS VARIÁVEIS VISUAIS DE BERTIN.....	29
FIGURA 07: INTENSIDADE LUMINOSA	31
FIGURA 08: SOMBREAMENTO DE OBJETOS.....	31
FIGURA 09: EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO DO TIPO "YOU-ARE-HERE"	33
FIGURA 10: EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO DO <i>INDOOR</i> GOOGLE MAPS.....	34
FIGURA 11: CONJUNTO DE SENSORES ARRANJADOS NO DISPOSITIVO KINECT	36
FIGURA 12: DIAGRAMA ESTRUTURAL DO SENSOR KINECT.....	37
FIGURA 13: FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA PROPOSTA	40
FIGURA 14: FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE MODELAGEM 3D.....	42
FIGURA 15: GEOMETRIA PARA O CÁLCULO DE COORDENADAS 3D.....	43
FIGURA 16: MÉTODO RANSAC VS. MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS.....	46
FIGURA 17: FUNCIONAMENTO BÁSICO DO MÉTODO RANSAC	47
FIGURA 18: CLASSIFICAÇÃO DOS PLANOS DETECTADOS PELO RANSAC.....	48
FIGURA 19: SUPERFÍCIE PLANA CLASSIFICADA COMO TETO	50
FIGURA 20: VARIÁVEIS VISUAIS E COMPLEMENTARES (DE VISUALIZAÇÃO) ..	52
FIGURA 21: IMAGEM DO AMBIENTE AMOSTRAL 1: CORREDOR	54
FIGURA 22: IMAGEM DO AMBIENTE AMOSTRAL 2: ESCRITÓRIO.....	55
FIGURA 23: NUVEM DE PONTOS DO AMBIENTE AMOSTRAL 3: LABORATÓRIO.....	55
FIGURA 24: RECONSTRUÇÃO DE SUPERFÍCIES NO MESH LAB	58
FIGURA 25: IMAGEM DE PROFUNDIDADE DO CORREDOR CAPTURADA PELO KINECT	59
FIGURA 26: PLANOS DETECTADOS NA NUVEM DE PONTOS DO CORREDOR.....	60
FIGURA 27: CORREDOR COM SUPERFÍCIES RECONSTRUÍDAS	60

FIGURA 28: CORREDOR COM SUPERFÍCIES REPRESENTADAS PELA VARIÁVEL TOM DE COR	61
FIGURA 29: APLICAÇÃO DE TEXTURAS FOTOREALÍSTICAS.....	63
FIGURA 30: APLICAÇÃO DE TEXTURAS COMO PADRÃO ESTRUTURADO.....	64
FIGURA 31: APLICAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NO AMBIENTE 1	66
FIGURA 32: APLICAÇÃO DE MATIZ NA ILUMINAÇÃO NO AMBIENTE 1	67
FIGURA 33: EFEITO DO FOV NO AMBIENTE 1	68
FIGURA 34: IMAGEM DE PROFUNDIDADE DO ESCRITÓRIO	69
FIGURA 35: ESCRITÓRIO COM SUPERFÍCIES REPRESENTADAS PELA VARIÁVEL TOM DE COR	70
FIGURA 36: ESCRITÓRIO COM TEXTURA FOTOREALÍSTICA	71
FIGURA 37: APLICAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NO AMBIENTE 2	72
FIGURA 38: APLICAÇÃO DE MATIZ NA ILUMINAÇÃO NO AMBIENTE 2	73
FIGURA 39: EFEITO DO FOV NO AMBIENTE 2	73
FIGURA 40: PLANOS DETECTADOS DO AMBIENTE 3	74
FIGURA 41: NUVEM DE PONTOS DO AMBIENTE 3.....	75
FIGURA 42: APLICAÇÃO DE TEXTURA ABSTRATA PARA CADA CLASSE DE PLANO	76
FIGURA 43: AMBIENTE 3 COM SUPERFÍCIES RECONSTRUÍDAS.....	77
FIGURA 44: ILUMINAÇÃO APLICADA NO AMBIENTE 3	78
FIGURA 45: FOV APLICADO NO AMBIENTE 3	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 01: CONDIÇÕES USADAS PARA CLASSIFICAR PLANOS.....	49
TABELA 02: RESUMO DO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO: AMBIENTES AMOSTRAIS	80
TABELA 03: RESUMO DO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO: VARIÁVEIS E EFEITOS VISUAIS	80

LISTA DE SIGLAS

2D – Bidimensional
3D – Tridimensional
APSS – Algebraic Point Set Surfaces
BSD – Berkeley Software Distribution
CityGML – City Geographic Markup Language
CMOS – Complementary Metal-Oxide Semiconductor
ESRI – Environmental Systems Research Institute
FOV – Field of View
fps – frames per second
ICA – International Cartographic Association
IR – Infravermelho
ITC – Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation
LAPE – Laboratório de Aquisição e Processamento de Dados Espaciais
LiDAR – Light Detection And Ranging
LoD – Level of Detail
MDS – Modelo Digital de Superfícies
MDT – Modelo Digital do Terreno
Mhz – Megahertz
OGC – Open Geospatial Consortium
OpenCV – Open Source Computer Vision
PCD – Point Cloud Data
PCL – Point Cloud Library
PLY – Polygon File Format / Stanford Triangle Format
RANSAC – Random Sample Consensus
RGB – Red Green Blue
RGB-D – Red Green Blue – Depth
SIG – Sistema de Informações Geográficas
TIN – Triangular Irregular Network
ToF – Time of Flight
VCG – The Visualization and Computer Graphics Library

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 HIPÓTESE	15
1.2 OBJETIVO GERAL	16
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4 JUSTIFICATIVA	16
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2. REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 REPRESENTAÇÕES 3D	19
2.2 REPRESENTAÇÕES REALÍSTICAS	22
2.3 PRINCÍPIOS PARA PROJETOS CARTOGRÁFICOS 3D	25
2.4 VARIÁVEIS VISUAIS E ASPECTOS DE VISUALIZAÇÃO	28
2.5 AMBIENTES <i>INDOOR</i>	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 MATERIAIS	35
3.1.1 Sensor Kinect	36
3.1.2 Biblioteca PCL (<i>Point Cloud Library</i>)	38
3.1.3 Biblioteca OpenCV (<i>Open Source Computer Vision</i>)	39
3.2 MÉTODOS	39
3.2.1 Modelagem 3D	41
3.2.1.1 Aquisição de dados e geração da nuvem de pontos 3D	41
3.2.1.2 Detecção automática de superfícies planas com RANSAC	45
3.2.2 Classificação dos planos detectados	48
3.2.3 Proposta de simbologia 3D para ambientes <i>indoor</i>	49
3.2.3.1 Análise do modelo 3D	50
3.2.3.2 Verificação do uso das variáveis visuais	51
3.2.3.3 Aplicação das variáveis para a proposta de simbologia 3D	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1 RECONSTRUÇÃO DE SUPERFÍCIES	56
4.2 APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA AS VARIÁVEIS VISUAIS	59

4.2.1	Ambiente <i>indoor</i> 1: Corredor	59
4.2.1.1	Variáveis Visuais	61
a)	Tom de cor	61
b)	Textura	62
4.2.1.2	Aspectos de Visualização	64
a)	Iluminação.....	64
b)	Sombreamento.....	67
c)	Configuração da câmera.....	67
4.2.2	Ambiente <i>indoor</i> 2: Escritório.....	69
4.2.2.1	Variáveis Visuais	69
a)	Tom de cor	69
b)	Textura	70
4.2.2.2	Aspectos de Visualização	71
a)	Iluminação.....	71
b)	Configuração da câmera.....	73
4.2.3	Ambiente <i>indoor</i> 3: Laboratório.....	74
4.2.3.1	Variáveis Visuais	75
a)	Tom de cor	75
b)	Textura	76
4.2.3.2	Aspectos de Visualização	77
a)	Iluminação.....	77
b)	Configuração da câmera.....	79
4.2.4	Resumo da Verificação do Uso das Variáveis Visuais	80
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	81
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

1. INTRODUÇÃO

Os princípios do projeto cartográfico para mapas 2D têm sido estudados e aplicados há vários anos, sendo as variáveis visuais propostas por Bertin (1981), a base para a especificação da simbologia deste tipo de projeto. A definição da simbologia como uma etapa fundamental de todo projeto cartográfico é feita considerando tanto a aplicação de princípios de comunicação cartográfica como também de elementos da linguagem visual, tal como a semiologia gráfica, que torna o design de símbolos um conhecimento em desenvolvimento contínuo. Os estudos de Bertin (1981) permitiram aos cartógrafos entender a complexidade das relações entre os símbolos e os objetos representados, em outras palavras, a aproximação do símbolo ao seu representando, abordado tanto pela semiologia gráfica como pela semiótica, evidenciando-se a possibilidade de representar, de inúmeras e diferentes formas, as feições do mundo real de uma maneira abstrata.

Há muitos anos os símbolos bidimensionais utilizados na Cartografia sistemática são produto de processos de padronização necessários para unificar a produção de Cartografia base, de forma a garantir uma comunicação eficiente entre produtores e usuários de Cartografia. Além da unificação dos símbolos, tem surgido a necessidade de realizar estudos sobre como a simbologia afeta o entendimento e leitura dos mapas, dando início às pesquisas relacionadas à cognição e aspectos da mente humana, como abordado em MacEachren (1995); Montello (2002); Santil (2008); Pinker (2009); e Schmidt (2012). Segundo Wei *et al.* (2010) existem dois aspectos fundamentais na relação entre a simbologia bidimensional e a simbologia tridimensional, isto é, o estudo dos símbolos 3D não interfere negativamente no interesse pelos símbolos 2D, ao contrário, provoca uma melhoria no desenvolvimento da teoria sobre simbologia 2D e; as pesquisas em simbologia 3D enriquecem e melhoram as técnicas para gerar representações, promovendo também a pesquisa contínua em Cartografia tridimensional, fato que é imprescindível para o desenvolvimento de novos produtos cartográficos ricos visualmente.

Contudo, tanto para simbologia 3D como para as representações cartográficas 3D, não existem padrões estabelecidos e a maior parte do conhecimento nesta área de estudo é herdada dos projetos para mapas 2D, além do

senso do cartógrafo (FOSSE; CENTENO; SLUTER, 2009). Existe uma discussão sobre o sentido verdadeiro de se ter padrões para a criação de representações cartográficas 3D. Se a representação tiver características de Cartografia Topográfica 3D, cujo objetivo é representar todos os elementos vistos na paisagem, e que estes sejam entendidos por todos os usuários, ela tem que ser concebida sob a óptica da Cartografia Temática (SCHMIDT, 2012). Portanto, seria necessário o uso de variáveis visuais, primitivas gráficas e classificação em níveis de medida para a criação da simbologia 3D (SLOCUM *et al.*, 2009), evidenciando-se a impossibilidade de se ter uma padronização. Pensar em padronizar símbolos para representações 3D, seja esta topográfica ou temática, representa um grande desafio científico, principalmente devido à natureza diversificada de ambientes 3D que podem ser representados, no caso da Cartografia Temática 3D.

Para as representações 3D, devido à influência do atributo que caracteriza a terceira dimensão, as variáveis visuais de Bertin deverão ser adaptadas para serem devidamente aplicadas à simbologia. O termo variável visual se refere à descrição das várias diferenças percebidas nos símbolos usados para representar feições geográficas nos mapas (SLOCUM *et al.*, 2009). Ao longo do tempo, estas variáveis têm sido amplamente estudadas, utilizadas e até modificadas por outros cartógrafos. A partir da metade dos anos 1990 e, principalmente, na primeira década do século XXI, os pesquisadores passaram a estudar as diferentes variáveis e aspectos de visualização que podem ser considerados no mapeamento tridimensional, como pode ser visto em MacEachren (1995) e Slocum *et al.* (2009) e suas aplicações nos trabalhos de Petrovič (2003) e Häberling (2004). O arranjo e a altura como atributo da perspectiva (MACEACHREN, 1995; SLOCUM *et al.*, 2009) também são variáveis consideradas para atingir a tridimensionalidade. Häberling, Bär e Hurni (2008) apresentaram um inventário dos aspectos a serem considerados para projetos de simbologia em 3D. Estes autores propuseram uma lista de princípios estruturados dentro de três grupos, que correspondem às etapas do projeto cartográfico para mapas 3D propostas por Terribilini (2001), ou seja, a modelagem geométrica, a simbolização como resultado da aplicação das variáveis visuais e, a visualização. Para a simbologia, as seguintes variáveis foram definidas: a aparência gráfica; os aspectos gráficos especiais; as texturas; os objetos textuais; e a animação de objetos. Para a visualização, a perspectiva, a configuração da câmera, a iluminação, o sombreado, e os efeitos atmosféricos são as variáveis a serem consideradas.

Vale lembrar que o projeto cartográfico de um mapa 3D é, em todos os casos, afetado por dois aspectos básicos na definição dos símbolos, ou seja, o grau de abstração e a dimensão dos objetos no mapa. Em outras palavras, é empregado um processo de generalização cartográfica.

A proposição de uma simbologia 3D que siga os princípios básicos da comunicação cartográfica deve ser feita considerando como base as variáveis gráficas e os efeitos visuais de apresentação dos símbolos, com a condição de evitar a geração de simbologia complexa que dificulte o entendimento da representação e comprometa uma comunicação eficiente. Por isso, a verificação do uso das variáveis visuais e os efeitos de visualização que influenciam a definição de cada símbolo é imprescindível também nas representações 3D. Vale ressaltar a importância dos princípios para Cartografia 3D propostos por Häberling, Bär e Hurni (2008) os quais focam no grau de abstração, na dimensão dos objetos, nos aspectos da câmera, na iluminação e, nos efeitos atmosféricos para representações 3D, assim como as pesquisas de Fosse (2008) e Schmidt (2012) que abordam o uso das variáveis visuais tamanho, forma e tom de cor; tanto como os aspectos de visualização, dentre os quais se destacam a iluminação, o sombreado, a perspectiva e a configuração da câmera, e como estes influenciam diretamente na proposta de simbologia 3D.

Tal como o aspecto visual da simbologia, um aspecto também altamente relevante a ser considerado em representações 3D de ambientes *indoor*, que são o tipo de ambiente alvo desta pesquisa, é o tipo de dado espacial que deverá ser empregado no processamento para a geração do modelo, o qual é parte principal do projeto cartográfico 3D. Geralmente, para representações cartográficas 3D de ambientes *outdoor* são empregados modelos digitais do terreno (MDT) ou modelos digitais de superfícies (MDS). Uma tecnologia que facilita a criação deste tipo de modelos é o LiDAR (*Light Detection And Ranging*) que permite a obtenção de nuvens de pontos tridimensionais da superfície. No caso de representações de ambientes *indoor* não é possível obter um MDT, e a tecnologia LiDAR é uma opção economicamente inviável para a geração de um modelo de superfícies, o que leva a se pensar na necessidade de outras tecnologias que possam ser utilizadas para a geração de um modelo tridimensional que se assemelhe à realidade que se quer representar. Além das técnicas de levantamentos consagradas nas Ciências Geodésicas, atualmente, outros dispositivos de coleta de dados, tais como as

câmeras de distância e os sensores RGB-D (*Red Green Blue – Depth*), têm sido utilizados como novas ferramentas para a aquisição de dados espaciais. O sensor RGB-D Microsoft® Kinect tem se popularizado, principalmente, por sua portabilidade e baixo custo, isto é, tanto seu preço de varejo como o seu custo operacional são relativamente baixos, quando comparados com outras tecnologias existentes. Uma das principais vantagens técnicas deste sensor é a possibilidade de capturar imagens, tanto RGB como de profundidade, simultaneamente e com alta frequência, o que permite a geração rápida de nuvens de pontos tridimensionais.

1.1 HIPÓTESE

Este trabalho tem como problema a verificação do uso das variáveis visuais tom de cor e textura em representações 3D de ambientes *indoor*. Serão consideradas experiências em representações tridimensionais de ambientes *outdoor* obtidas por outros pesquisadores, nas quais foram analisadas e avaliadas diferentes variáveis visuais e aspectos de visualização. Assim, como hipótese deste trabalho, afirma-se que a verificação do uso das variáveis visuais tom de cor e textura é possível de ser realizada mediante a criação de várias representações de ambientes *indoor* amostrais com alterações nos parâmetros que definem a construção da simbologia 3D.

A aplicação dos parâmetros que definem a simbologia produz efeitos visuais diferentes durante a verificação o que implica em representações com aparência distinta. Portanto, o uso das variáveis visuais e dos aspectos de visualização considerados nesta pesquisa deve ser cuidadosamente analisado para chegar a conclusões que possam servir como guia para a construção de simbologia 3D para ambientes *indoor*.

1.2 OBJETIVO GERAL

Verificar o uso das variáveis visuais tom de cor e textura em representações de ambientes *indoor*, para determinar sua influência na proposta de simbologia 3D.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Empregar técnicas de processamento de nuvem de pontos 3D, derivada de câmeras RGB-D, para gerar o modelo tridimensional e realizar a determinação das feições que serão representadas por meio de simbologia 3D.
- Verificar o uso das variáveis visuais tom de cor e textura bem como a sua influência sobre os objetos representados tridimensionalmente, mediante a produção de várias representações com parâmetros visuais diferentes dos mesmos ambientes *indoor* amostrais.
- Determinar os parâmetros das variáveis visuais que melhor se adaptam para serem aplicados na proposta de simbologia 3D para representação de ambientes *indoor*.
- Propor a simbologia 3D para a representação dos ambientes *indoor* amostrais.

1.4 JUSTIFICATIVA

O advento de novas tecnologias para coleta de dados tridimensionais tem possibilitado a criação de representações cartográficas 3D, expandindo a visão clássica da Cartografia analógica para abrir campo à Cartografia digital e à tendência de representar o mundo tridimensionalmente. Foley *et al.* (1990) identificaram um “crescimento explosivo” de aplicações em 3D ao nível de se tornar tão conhecidas quanto as 2D. Paralelamente, surgiu a representação fotorealística, fundamentada na aplicação de texturas em superfícies para que se assemelhassem com aquelas presentes nos objetos do mundo real. O que na década de 1980 era considerado algo exótico, o estado da arte nos anos 1990 evidenciava o potencial desta tecnologia que começava a ser usada em várias rotinas da computação gráfica. Embora a tecnologia tenha evoluído consideravelmente nos últimos anos, os

direcionamentos para a criação de Cartografia topográfica tridimensional não parecem acompanhar o desenvolvimento da área tecnológica, fato que coloca em evidência a indiscutível necessidade de se realizarem estudos que contribuam para a futura definição de diretrizes para este tipo de projeto cartográfico tridimensional. Schmidt (2012) aponta ainda que, compreender como tratar e desenvolver o projeto cartográfico para representações 3D é de fundamental importância para que estas novas técnicas e ferramentas sejam utilizadas de modo que tais representações possam comunicar adequadamente.

Uma etapa fundamental de todo projeto cartográfico 3D é a definição de simbologia para a representação dos elementos da realidade. A *Commission on Map Design* da ICA (*International Cartographic Association*) promove, dentre várias atividades, o estudo na área de simbologia tridimensional. A linha de pesquisa desta comissão procura se manter atualizada e busca acompanhar o desenvolvimento tecnológico que acontece em outras áreas do conhecimento e que possa contribuir para a formulação de novas técnicas para a geração de insumos a serem usados na Cartografia. Um exemplo são as tecnologias desenvolvidas na área dos sensores remotos para a criação de modelos tridimensionais, realidade que tem produzido um aumento significativo no interesse pelo estudo da simbologia tridimensional. A existência de sensores para captura de dados tridimensionais de ambientes *indoor* tem conduzido à geração de modelos de interiores de edificações que podem ser considerados valiosos subsídios para a criação de representações 3D. Uma discussão sobre o estado da arte da Cartografia *indoor* foi apresentada por Nossu (2013), destacando-se que a maior parte dos estudos existentes são destinados a ambientes *outdoor* e, a atenção que o mapeamento *indoor* tem recebido da comunidade científica ainda é relativamente escassa. Frente a essa realidade, existem fatores que têm posicionado a Cartografia *indoor* na agenda de pesquisa dos cientistas, como por exemplo, a crescente complexidade das edificações e o contínuo desenvolvimento de tecnologias de posicionamento *indoor*, o que tem contribuído como uma motivação para a realização de pesquisas sobre ambientes *indoor*. No entanto, o estudo de Cartografia tridimensional de ambientes *indoor* focado especificamente na representação, não tem recebido tanto interesse pela comunidade.

Nas Ciências Geodésicas várias áreas do conhecimento se alimentam de tecnologias computacionais possibilitando a realização de pesquisas com conteúdo

inovador. Pensar no uso de tecnologias que há anos são utilizadas em Fotogrametria e Sensoriamento Remoto pode trazer grandes benefícios à Cartografia. As técnicas fotogramétricas para levantamento de dados para geração de modelos tridimensionais podem ser expandidas para outras áreas do conhecimento de modo a contribuir para o desenvolvimento de pesquisas inovadoras e abrir campo a novas linhas de investigação. A proposta de simbologia 3D para ambientes *indoor*, derivada do uso de um modelo tridimensional *indoor* gerado a partir da coleta de dados tridimensionais com um sensor de tipo RGB-D, que sirva como insumo para a verificação do uso das variáveis visuais que compõem a simbologia, é inédita. Pouco tem-se estudado sobre as variáveis que influenciam a criação de simbologia tridimensional e, praticamente nula a atenção que se registra na literatura para o caso específico das representações *indoor*, que são o motivo desta pesquisa.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. No Capítulo 1 é realizada uma introdução à problemática abordada, sendo apresentados os objetivos junto com a justificativa desta pesquisa. No Capítulo 2 é apresentada a revisão de literatura que traz o estado da arte em técnicas utilizadas para representação 3D, assim como uma descrição dos elementos que influenciam a criação de simbologia tridimensional e os aspectos visuais que devem ser considerados no processo. Finalmente se descreve o estágio atual de pesquisa em ambientes *indoor*. No Capítulo 3 se descreve em detalhe a metodologia implementada e todos os materiais e recursos utilizados no desenvolver deste trabalho. No Capítulo 4 são apresentados os resultados e discussões sobre o processo de verificação do uso das variáveis visuais e os efeitos visuais aplicados na proposta de simbologia 3D para ambientes *indoor*. Finalmente as conclusões e recomendações para trabalhos futuros são apresentados no Capítulo 5.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, será apresentado o estado da arte relacionado com a problemática desta pesquisa, a qual se concentra nas seguintes áreas do conhecimento: representações 3D; representações realísticas; princípios para projetos cartográficos 3D; simbologia 3D e; ambientes *indoor*.

2.1 REPRESENTAÇÕES 3D

O termo “mapa 3D” não se encontra definido por consenso na literatura especializada, embora segundo Häberling (2002), este tipo de representação de fato apresenta algumas características que podem justificar a atribuição desta terminologia. É tridimensional pois os elementos nele representados são percebidos numa perspectiva tridimensional, por meio do sistema ocular humano, mesmo que sejam visualizados em dispositivos 2D. Por outro lado, é um mapa porque apresenta fenômenos espaciais sobre um modelo, como por exemplo um MDT, segundo as convenções cartográficas de simbologia e generalização. Estas características observadas são adequadas e válidas quando se trata de mapas 3D *outdoor*, mapas topográficos 3D e mapas temáticos 3D. Entretanto, para ambientes *indoor*, o uso de modelos como os MDT não é possível e isto pode acarretar confusão ao usar o termo “mapa 3D”, por este motivo considera-se mais adequado utilizar o termo “representação 3D” ao longo desta pesquisa, para fazer referência a toda representação tridimensional com conteúdo cartográfico e gerada por computador. Fosse, Centeno e Sluter (2009) apontam ainda que não existem discussões teóricas suficientes para a adoção do termo “mapa 3D” para modelos virtuais. Uma das principais razões para esta falta de concordância é que a representação de superfícies é comumente feita em perspectiva, o que é definida como uma representação em 2,5D. Vale ressaltar que o efeito tridimensional para representações temáticas do relevo por meio da aplicação de efeitos e variáveis visuais, como por exemplo o sombreado, foi abordado por Imhoff (1982).

A possibilidade de criar representações tridimensionais valendo-se do advento tecnológico ocorrido nos últimos anos tem produzido uma lacuna no

conhecimento sobre representações 3D, devido a que os estudos para propor diretrizes para este tipo de representações não acompanharam a evolução tecnológica, evidenciando-se a falta de consenso na literatura sobre o uso da terminologia atribuída a estas representações, que são em muitos casos genericamente chamadas de Cartografia 3D (SCHMIDT, 2012). Existem ainda outros termos utilizados como “*map-related representations*”, um nome genérico cunhado pela ICA (2003) para todos os tipos de representações cartográficas, inclusive para cartas topográficas tridimensionais em perspectiva.

Podem ser encontrados exemplos de representações tridimensionais cartográficas na literatura especializada, sendo uma grande parte delas, quase em sua totalidade, desenvolvida para ambientes *outdoor*. Um exemplo é a Cartografia do relevo (FIGURA 01), que surgiu pelo interesse de gerar produtos específicos para este tipo de ambiente como objetivo da *Commission on Mountain Cartography* da ICA.

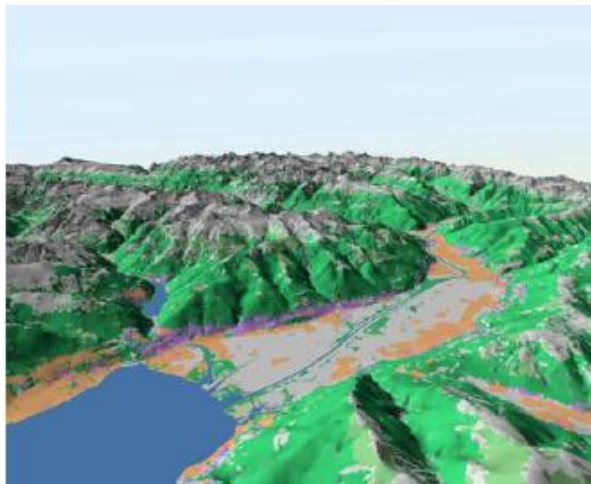


FIGURA 01: VISUALIZAÇÃO SIMBOLIZADA (ABSTRATA) DO RELEVO.
FONTE: Hurni, Häberling, Kriz (2003)

Outro exemplo são as representações de cidades virtuais, conhecidas como mapas 3D de cidades ou “*3D City Maps*” como pode ser visto em Bandrova (2001; 2005). Esta autora fez uma proposta de simbolização de feições com um elevado nível de realismo (FIGURA 02). Brandova (2009 apud Schmidt, 2012) contrapõe autores como Häberling (2008) que defendem a ideia de representar ambientes urbanos simplificadamente ao afirmar que os símbolos para este tipo de ambiente devem ser realísticos.



FIGURA 02: EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO 3D DE CIDADES.
FONTE: Bandrova (2001)

As representações tridimensionais *indoor* com conteúdo cartográfico não são amplamente abordadas na literatura. Uma tendência que tem surgido nos últimos anos é a construção de modelos semânticos *indoor* tridimensionais de edificações, segundo as especificações do padrão CityGML definido pela OGC (Open Geospatial Consortium), atualmente na sua versão 2.0. Este padrão procura a definição das relações espaciais entre os elementos presentes na representação. Seu formato XML é utilizado para armazenagem e intercâmbio de modelos virtuais 3D de cidades, destinados principalmente para fins de navegação *indoor*, (FIGURA 03).

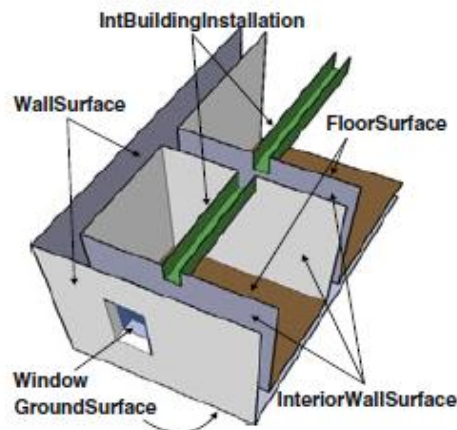


FIGURA 03: EXEMPLO DE MODELO CITYGML DE UM ARMAZÉM.
FONTE: Brown *et al.* (2013)

A especificação atualizada do padrão inclui propriedades para categorias como terreno, edificações, linha férrea, túneis, pontes, corpos d'água, vegetação, móveis urbanos, objetos genéricos, dentre outras (CityGML, 2012).

2.2 REPRESENTAÇÕES REALÍSTICAS

Uma das decisões a ser considerada para as representações de ambientes virtuais é a escolha do modelo de representação apropriado, devido a que este terá um impacto direto nas etapas de desenvolvimento do projeto de representação e conseqüentemente sobre seu aspecto visual final. O processo de escolha deve considerar o propósito específico da representação e o grupo alvo de usuários. Neste âmbito surge uma pergunta fundamental: uma representação simbólica abstrata será mais efetiva do que uma representação realística? (BODUM, 2005). Considerando o objetivo que se quer alcançar com cada representação, a escolha pode ser definida pela melhor adequação destas duas opções à demanda do usuário e à orientação do cartógrafo. No caso deste trabalho, dependendo dos parâmetros aplicados nas variáveis visuais é possível produzir representações tanto abstratas (por exemplo por aplicação de texturas predefinidas) como realísticas (pela aplicação de texturas fotorealísticas). As representações altamente realísticas são cada vez mais ricas e fieis à realidade representada por causa da disponibilidade de técnicas computacionais avançadas. Slocum *et al.* (2009) detectaram várias conseqüências do advento tecnológico na área da Cartografia tanto como nas áreas afins. Uma das conseqüências mencionadas por estes autores é a possibilidade de criação de representações realísticas, tanto de ambientes da natureza como de ambientes antrópicos, apoiados na tecnologia computacional. Apontam que, atualmente, deve-se ampliar aquele pensamento clássico de Cartografia altamente abstrata para dar lugar às representações com um alto componente realístico. Mesmo com a disponibilidade de tecnologia para a criação de representações realísticas, atingir um elevado nível de realismo nas representações virtuais pode ser desafiante. Portanto, deve-se avaliar a necessidade prática do realismo e o valor deste nas aplicações gráficas.

A dificuldade fundamental que ainda persiste para se criar representações tridimensionais realísticas é a própria complexidade do mundo real. Sob a condição humana de interação num mundo tridimensional real, é indispensável identificar os elementos que influenciam na proposta de representações 3D, e que garantam uma comunicação cartográfica eficiente (KRAAK, 1988). No mundo real existem superfícies com texturas diferentes, variações de tonalidade das cores, efeitos de sombras, reflexões de luz nos objetos, assim como, irregularidades nas formas dos

objetos. O custo computacional para simular tantos efeitos possíveis presentes na realidade, numa representação tridimensional virtual realística, pode ser alto, desnecessário e inclusive pouco viável. Uma alternativa então seria proporcionar ao usuário informação suficiente para o entendimento das relações espaciais dos objetos presentes nas representações 3D (FOLEY *et al.*, 1990).

Na computação gráfica é possível ainda definir três tipos de realismo: realismo físico, fotorealismo e realismo funcional. O realismo físico diz que a imagem fornece o mesmo estímulo visual que a cena. Por outro lado, o fotorealismo produz a mesma resposta visual que a cena. Finalmente, o realismo funcional, no qual a imagem fornece a mesma informação visual que a cena. Para uma representação cartográfica em 3D, o realismo funcional proporciona as características mais favoráveis. Nele, a informação é sinônimo de conhecimento sobre as propriedades dos objetos, como por exemplo, a forma, o tamanho e a posição, permitindo ao usuário desta informação a interpretação visual da cena e a realização de análises espaciais efetivas (FERWERDA, 2003). Häberling (2002) defende a ideia de representar feições do mundo real mediante o uso de simbologia simplificada, que poderia ser considerada como um tipo de realismo funcional, o que significa que os símbolos não devem ser excessivamente detalhados, de forma a não sobrecarregar a representação ou ocasionar alto processamento computacional.

Cada vez que uma representação é criada, acontece um processo de abstração que é utilizado para realçar a essência da informação que se quer representar (FIGURA 04). A maior parte de abstrações são feitas por transformações diretas nas feições, processo que comumente é chamado de generalização cartográfica, tornando a representação final numa simplificação da forma real da feição, sem alteração do valor da informação nela contida. Neste processo, alguns elementos da feição são destacados e outros são omitidos, sempre conservando as características principais que a definem (CARPENDALE, 1997). Existem modelos 3D de tipo arquitetônico bem como soluções com características de realidade virtual nas quais o nível de detalhamento das feições é alto, resultando em níveis de abstração praticamente nulos, o que leva a considerar estas representações pouco adequadas para serem utilizadas como modelos tridimensionais de ambientes aptos para Cartografia (NOSSUM, 2013), pois sua interpretação seria complicada ao conter detalhamento excessivo das feições dificultando o entendimento do usuário geral.

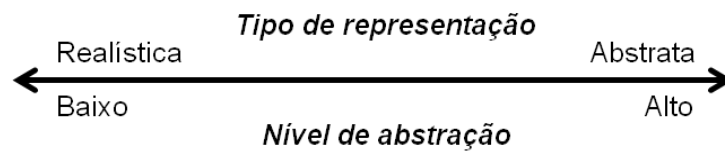


FIGURA 04: NÍVEL DE ABSTRAÇÃO EM CARTOGRAFIA.
 FONTE: Modificado de Dykes; Moore; Airbairn (1999)

Häberling (2002) considera, com base em estudos conduzidos sobre preferências dos usuários de mapas, que os usuários especialistas preferem símbolos abstratos, semelhante ao que acontece com os usuários de mapas tradicionais em 2D. É possível então pensar que os símbolos para representações 3D sejam também construídos a partir de formas geométricas simples. O grau de abstração dos símbolos vai determinar se uma representação é mais ou menos realística. Segundo Fosse (2008), uma representação cartográfica 3D realística tende a ser reconhecida mais facilmente pelo usuário, contudo, a maior desvantagem deste tipo de representação é a carência de linguagem de comunicação cartográfica para que as informações contidas nelas sejam corretamente interpretadas pelos usuários. Esta realidade novamente coloca em evidência a importância de se realizar estudos na área das representações cartográficas tridimensionais, diminuindo no futuro as dificuldades provenientes da falta de direcionamento para a geração de Cartografia tridimensional, principalmente sob a ótica da Cartografia Topográfica, o que acarretaria em problemas de interpretação e leitura de produtos cartográficos. Fairbairn *et al.* (2001) afirmaram que, a busca por atingir um desejado nível de realismo nas representações cartográficas, é de elevada importância na agenda de pesquisa nas áreas da Cartografia e da Visualização, ao mesmo tempo que, os dados espaciais são disponibilizados com alta resolução e a necessidade de abstrair e simplificar as representações classicamente complexas é imperiosa.

2.3 PRINCÍPIOS PARA PROJETOS CARTOGRÁFICOS 3D

O inventário de princípios para projetos cartográficos 3D para representações tridimensionais apresentado em Häberling (2004) e ampliadas em Häberling, Bär e Hurni (2008), teve sua origem na taxonomia pictórica proposta por Kraak (1988) e na pesquisa realizada por Terribilini (2001). Nesta última, o autor definiu três etapas fundamentais, a saber: geração do modelo, simbolização e, visualização (FIGURA 05).

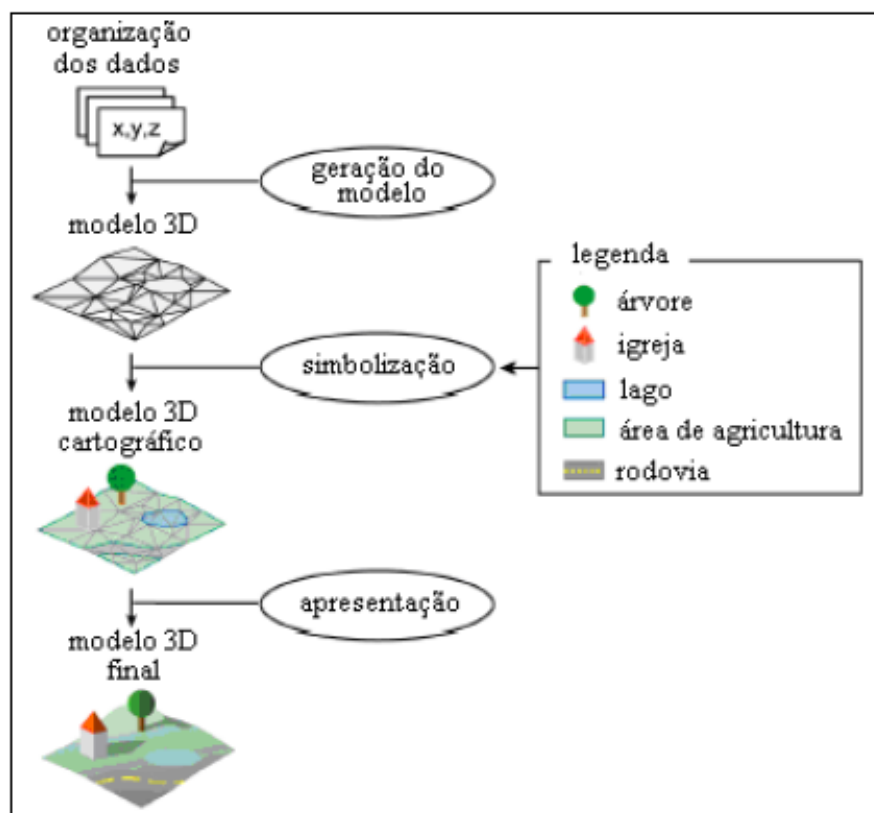


FIGURA 05: ETAPAS DO PROJETO CARTOGRÁFICO 3D.

FONTE: Terribilini (2001) adaptado por Häberling (2002) e Fosse (2008)

Estas etapas foram estudadas e adaptadas por Häberling (2002), que descreve as etapas do projeto cartográfico para simbologia tridimensional como sendo: a modelagem geométrica, a qual consiste na organização e preparação da base cartográfica para criar o modelo tridimensional do terreno; a simbolização, para a qual é utilizado o modelo tridimensional do terreno e são criados todos os símbolos para os objetos a serem representados e; a visualização ou apresentação, etapa na qual são determinados os parâmetros como iluminação, sombreamento e efeitos

atmosféricos, que serão aplicados nos objetos para completar a representação cartográfica 3D.

Os 19 princípios propostos por Häberling (2004) para projetos cartográficos de representações 3D são uma referência válida para a pesquisa na área das representações cartográficas tridimensionais. Os princípios foram propostos em cinco grupos, a saber:

A - Grau de abstração em representações 3D:

- (1) Uma simbologia abstrata, de linhas e áreas, permite a criação de uma representação familiar e de fácil interpretação.
- (2) Os símbolos volumétricos melhoram a percepção perspectiva nas representações 3D.
- (3) Símbolos tridimensionais são recomendados para objetos pontuais para representações que contenham imagens de satélite como textura.
- (4) Os símbolos podem consistir de formas geométricas simples.
- (5) Os objetos de representações topográficas podem ter aparência natural próxima à realidade, mas não devem ser fotorealísticos.
- (6) Padrões estruturados, como linhas formando redes ou ordenadas em paralelo, podem ser úteis para representar texturas e elementos de área.
- (7) Os padrões estruturados com linhas entrelaçadas não devem ser concebidos com um espaçamento excessivamente denso, nem conter linhas estreitas.
- (8) Os padrões estruturados devem exibir bom contraste com o terreno.

B - A dimensão em representações 3D:

- (9) As características do terreno são enfatizadas quando o modelo digital do terreno é exagerado verticalmente.
- (10) O tamanho dos objetos, na representação topográfica, deve ser definido para que estes sejam facilmente identificáveis, tanto em primeiro plano como no fundo da cena.
- (11) Os tamanhos dos elementos lineares e pontuais devem ser definidos de forma a não encobrir em excesso o terreno.
- (12) O tamanho dos objetos na representação deve ser definido de modo a evitar oclusões entre elementos.

(13) Os objetos pontuais podem ter um tamanho maior do que aqueles lineares ou de área.

(14) A aparência dos objetos pontuais não deve ser dominante no mapa.

C - Aspectos da câmera para representações 3D:

(15) Para visualizar uma representação cartográfica 3D, é preferível ter uma inclinação da câmera de 45° (ângulo de visada).

D - Aspecto de iluminação para representações 3D:

(16) A iluminação do modelo cartográfico 3D deve ser principalmente lateral ou ligeiramente à frente.

E - Efeitos atmosféricos para representações 3D:

(17) Um modelo de fundo (paisagem), com cor neutra e sem textura de céu, é recomendável numa vista perspectiva de um modelo cartográfico 3D.

(18) Uma representação 3D é percebida em perspectiva mesmo sem a presença de neblina.

(19) A adição de neblina leve melhora a percepção de profundidade em vistas em perspectiva.

Pegg (2009) reconhece a importância dos princípios propostos por Häberling (2004) e ratifica a contribuição deles como referência para a produção de símbolos tridimensionais na área das representações 3D. Schmidt (2012) aponta que estes princípios ainda estão em seus estágios preliminares e existe necessidade de pesquisas sobre a sua eficácia e adequação para a comunidade usuária de representações 3D. Os princípios se sustentam no objetivo futuro de conseguir propor uma teoria cartográfica consistente para representações tridimensionais. Na atualidade, eles buscam dar um direcionamento para produtores voluntários de informação, considerados não experientes cartograficamente, mas que contribuem efetiva e ativamente no desenvolvimento de aplicações cartográficas.

2.4 VARIÁVEIS VISUAIS E ASPECTOS DE VISUALIZAÇÃO

Vários estudos têm sido conduzidos em relação à simbologia 3D para mapas topográficos tridimensionais. Petrovič (2003) afirma que para objetos pontuais de origem antrópica como edificações, igrejas e monumentos, é melhor usar símbolos 3D pontuais simplificados. Por outro lado, para objetos naturais como árvores, arbustos e cachoeiras, é recomendada uma representação com símbolos 3D realísticos. Petrovič e Mašera (2004) conduziram um estudo baseado em questionários para usuários de mapas, o que levou à conclusão de que estes usuários, em sua maioria, preferem a simbologia 3D no lugar da clássica em 2D, principalmente porque a primeira facilita o reconhecimento de objetos no ambiente representado. Na literatura, não se encontram trabalhos relacionados com simbologia 3D para ambientes *indoor*. Os estudos realizados por Brandova (2001); Terribilini (2001); Petrovič (2003); Häberling (2002, 2004); Petrovič e Mašera (2004); Häberling, Bär e Hurni, (2008); Fosse (2008); Fosse, Centeno e Sluter (2009); Schmidt (2012) foram todos para ambientes *outdoor* mas são considerados uma referência importante para este trabalho e contribuem com o conhecimento em representações 3D que serviu de base para esta pesquisa realizada para representação de ambientes *indoor*.

Os aspectos gráficos que devem ser considerados para a geração de representações 3D foram mencionados por Kraak (1988) quem os denominou de *depth cues*, definindo-os como grupos de parâmetros que são usados para definir efeitos visuais que influenciem a aparência dos objetos nas representações 3D. Eles foram descritos por Häberling (2002) seguindo a estrutura para projetos cartográficos 3D proposta por Terribilini (2001). Com os aspectos gráficos é possível representar e controlar todas as feições existentes numa representação, por exemplo, determinando como os objetos serão visualizados em vistas em perspectiva. Cada aspecto gráfico pode incluir uma ou mais variáveis visuais. As definições de simbologia, usadas na produção da Cartografia moderna, são resultado do estudo das seis variáveis visuais originais de Bertin (FIGURA 06): forma, tamanho, saturação, textura, tom de cor e orientação. A importância de se usar as variáveis para perceber as diferenças entre os elementos representados nos mapas, tem motivado os cartógrafos a realizar pesquisas sobre a seleção adequada

das variáveis visuais para garantir a comunicação cartográfica nos seus produtos (KRAAK; ORMELING, 2012).

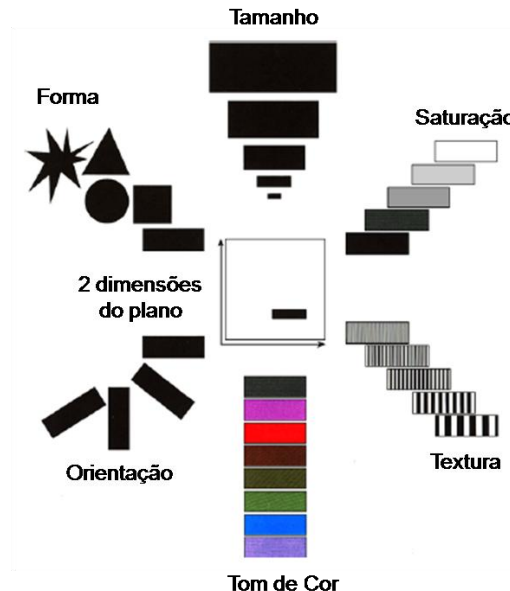


FIGURA 06: AS VARIÁVEIS VISUAIS DE BERTIN.
FONTE: Bertin (1981)

Para o caso das representações 3D, as variáveis visuais de Bertin sofrem leves modificações para se adaptar à inclusão da altura como atributo da terceira dimensão, e também, são consideradas outras técnicas adicionais, como por exemplo, o sombreado para simular o efeito de visão em perspectiva tridimensional (SLOCUM *et al.*, 2009). Nas vistas em perspectiva, os objetos mais próximos ao usuário são claramente visíveis e representados com um tamanho aparente maior do que aqueles objetos que estão distantes, por conseguinte, não é possível usar de forma exclusiva as variáveis de Bertin, como neste caso o tamanho, para distinguir e definir diferentes classes de objetos em 3D (PETROVIČ, 2003). Este efeito pode ser explicado por meio do dimensionamento inversamente proporcional à distância do objeto ao usuário (FOLEY *et al.*, 1990). Em outras palavras, a perspectiva muda o tamanho aparente dos objetos e as distâncias existentes entre eles, quanto mais o usuário se aproxima ou se afasta deles. Este efeito é amplamente usado para construção de cenas tridimensionais de superfícies planas na área da computação e da realidade virtual (AZEVEDO; CONCI, 2003).

O tom de cor é descrito por Häberling (2002) como uma variável visual 3D que pode ser escolhida dentre milhares de variações disponibilizadas atualmente

nos software computacionais sofisticados, o que torna a estética do mapa um assunto não mais dependente das habilidades manuais do cartógrafo, mas sim do bom senso e conhecimento prévio como requisito essencial do profissional para criar representações. A textura como padrão estruturado também se avanteja da tecnologia digital disponível que pode ser explorada pelos cartógrafos. As texturas podem ser criadas a partir de imagens raster e aplicadas diretamente nos objetos em forma de padrão estruturado, ou ainda, utilizando técnicas computacionais avançadas como a aplicação de fractais.

Para a construção de representações 3D, atualmente não existem regras ou diretrizes estabelecidas que possam orientar os cartógrafos, como aquelas existentes para Cartografia topográfica em 2D, fato que é comentado por Schmidt (2012), que aponta também que existem várias questões fundamentais abertas à pesquisa, como por exemplo, a construção e reconhecimento de símbolos tridimensionais. O inventário dos aspectos a serem considerados para projetos de simbologia em 3D apresentado por Häberling (2004) e detalhado no item 2.3 desta dissertação, apresenta uma lista de variáveis relacionadas a cinco aspectos de visualização principais, como a perspectiva, a configuração da câmera, a iluminação, o sombreamento e, os efeitos atmosféricos. Häberling (2002) descreve as configurações da câmera enfatizando que os aspectos gráficos devem considerar tanto a posição da câmera como a sua geometria. Ela é entendida como a especificação da direção de visada como sendo uma componente horizontal, o ângulo de visada como uma componente vertical e o FOV. Acrescenta que as configurações são especialmente importantes para representações dinâmicas como o caso de cenas em movimento ou filmes com animação 3D.

O efeito visual da iluminação, sob o ponto de vista da computação gráfica, é considerado com base nas regras da ótica e da física de radiações e a sua interação com os objetos (FIGURA 07). A complexidade de se criar modelos de iluminação tem levado os programadores a simplificar os processos computacionais, com o objetivo de obter bons resultados práticos (AZEVEDO; CONCI, 2003).

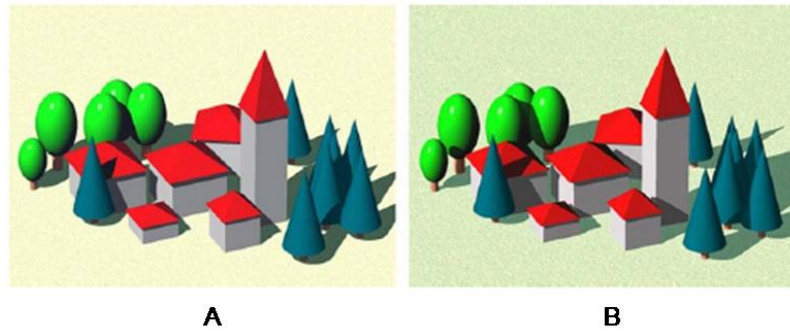


FIGURA 07: INTENSIDADE LUMINOSA: 100% (A) E 70% (B).
 FONTE: Häberling (2004)

O efeito de sombreamento acrescenta a sensação de profundidade e muda o contraste entre os objetos e a superfície onde eles estão apoiados, ou para o caso dos mapas topográficos 3D, ele recria o efeito do terreno. O efeito visual produzido pela aplicação da variável sombreamento é a formação de uma área com sombra no solo (FIGURA 08) por causa da incidência da luz sobre o objeto (KRAAK; ORMELING, 2012). Este efeito visual deve ser considerado para ambientes *indoor*, devido a que a grande quantidade de objetos presentes geram sombras que podem interferir na representação de outros elementos próximos aos objetos geradores de sombra. As sombras poderiam ser minimizadas em ambientes com iluminação controlada, mas isto não representaria fielmente a realidade de um ambiente normalmente influenciado por este tipo de variável. Fosse (2008) afirma que a sombra é um aspecto gráfico que dá "vida" à representação, variando desde um efeito mais leve a um efeito mais significativo, ela é um elemento importante de toda cena 3D.

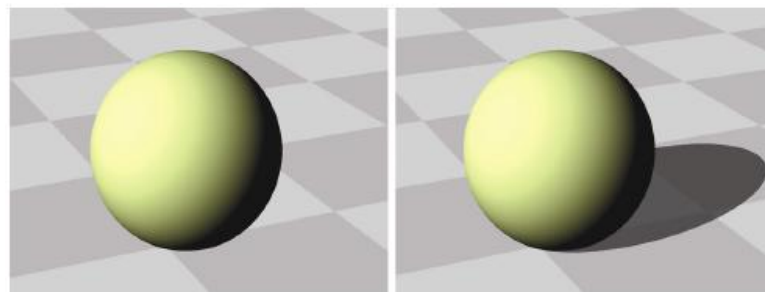


FIGURA 08: SOMBREAMENTO DE OBJETOS.
 FONTE: Häberling (2004)

O desenvolvimento contínuo da tecnologia computacional oferece alternativas de representação e disponibiliza novos elementos e efeitos visuais que podem ser considerados quando é proposta uma simbologia para representações

3D (PETROVIČ, 2003). Esta realidade só foi alcançada devido à interação da Cartografia, com a área da computação gráfica e com a geovisualização 3D, a qual tem-se tornado sólida devido aos avanços teóricos e tecnológicos que têm ocorrido em cada uma destas áreas (DÖLLNER, 2005).

2.5 AMBIENTES *INDOOR*

Um ambiente *indoor* pode ser de natureza diversa e apresentar tantas características diferentes, como por exemplo, uma sala de aula, um quarto de um hospital ou uma loja de um shopping, todos eles consideram-se ambientes *indoor*. A definição de ambiente *indoor* adotada para esta pesquisa entende como um ambiente fechado onde praticamente não existe presença de elementos naturais. Nesse contexto, Kim *et al.* (2012) identificaram três características importantes a serem consideradas durante a sua representação: a maioria destes ambientes são constituídos por elementos básicos como teto, paredes, chão, portas, janelas, móveis, os quais geralmente existem várias vezes no mesmo ambiente; estes elementos frequentemente são feitos de partes rígidas com uma geometria simples, tais como superfícies planas, cilíndricas, cônicas ou esféricas e; as relações espaciais entre estes elementos são importantes, por exemplo, as cadeiras sobre o chão ou o computador sobre a mesa de trabalho.

Um parâmetro usado principalmente em aplicações de mapeamento para distinguir os ambientes *indoor* dos ambientes *outdoor*, é a luminosidade. O valor da luminosidade para interiores é menor do que para exteriores, uma vez que a intensidade produzida por uma fonte natural, como o Sol, é maior na faixa do espectro visível do que a emitida por fontes artificiais, como no caso das lâmpadas (ZHOU *et al.*, 2012). Este parâmetro deve ser considerado e modelado na proposta de simbologia tridimensional de ambientes *indoor* sabendo que ele produz um efeito visual importante sobre os objetos presentes na cena e tem estreita relação com o sombreamento dos objetos.

Nossum (2013) aponta que as aplicações desenvolvidas para interiores têm sido concebidas principalmente com foco na navegação *indoor* e os sistemas de posicionamento. De forma geral, existe pouco interesse na própria representação desses ambientes. Uma exceção são os mapas do tipo *You-Are-Here* (você está

aqui) frequentemente disponibilizados ao usuário em prédios públicos, agências bancárias e estabelecimentos comerciais. Os mesmos são projetados por meio de análises de simbologia simplificada para ser entendida principalmente por pessoas inexperientes em uso de mapas (FIGURA 09). Estas representações são essencialmente bidimensionais e em perspectiva, o que propicia uma sensação de profundidade e auxilia a identificação dos elementos mais próximos e mais afastados do usuário.

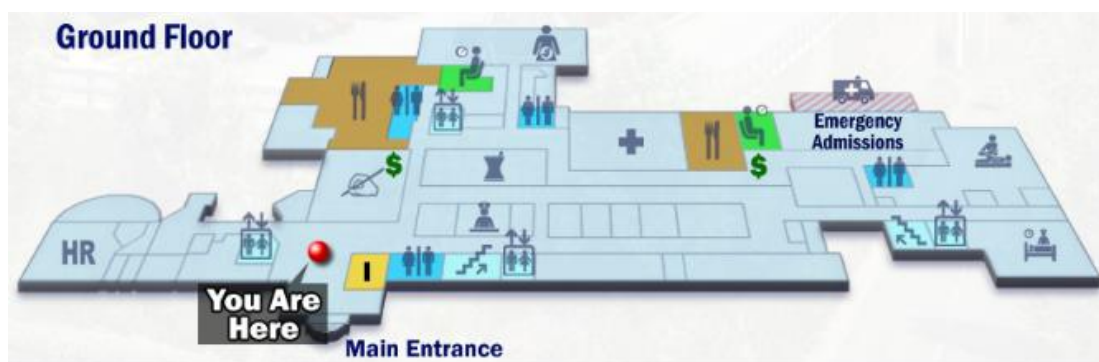


FIGURA 09: EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO DO TIPO "YOU-ARE-HERE".
FONTE: Koning (2011)

Atualmente, pode-se afirmar que a atenção investida para desenvolver pesquisa sobre representações de ambientes *indoor* ainda é baixa, quando comparada com as aplicações para ambientes *outdoor*. Recentemente, representações voltadas para navegação *indoor* têm sido disponibilizadas no projeto *Indoor Google Maps* o qual estende a filosofia dos mapas "*you-are-here*" para o novo paradigma de saber o que é "*here*", ou seja, eles são projetados para ajudar na navegação *indoor* de uma pessoa que deseja saber sua localização através de uma tecnologia móvel que suporte o aplicativo desenvolvido pela Google®. Um exemplo deste tipo de representação é o mapeamento *indoor* das dependências do Mission College Santa Clara, California, Estados Unidos. Esse aplicativo foi criado para auxiliar o deslocamento dos estudantes dentro das instalações educativas (FIGURA 10).

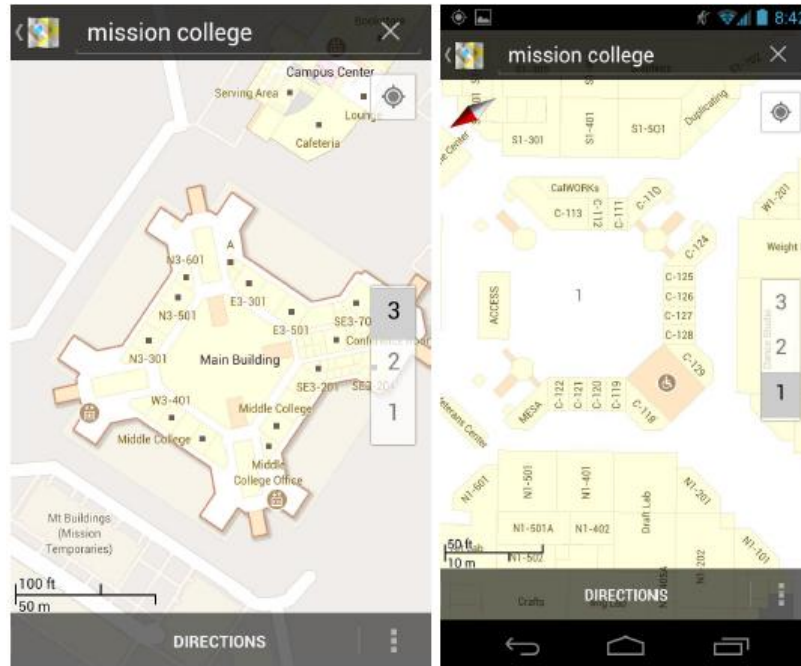


FIGURA 10: EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO DO *INDOOR* GOOGLE MAPS.
 FONTE: Google ® (2012)

Os exemplos acima apresentados são evidência do tipo de Cartografia *indoor* que está sendo desenvolvida atualmente, principalmente com o objetivo de ajudar na navegação *indoor* de pessoas e todos os ambientes representados em duas dimensões ou em vistas em perspectiva. É difícil atualmente encontrar projetos que tratem sobre a representação de ambientes *indoor* tridimensionais com ênfase no próprio modelo 3D representado, esta é uma realidade que evidencia o investimento em pesquisa sobre Cartografia tridimensional *indoor*, pensada desde a ótica da Cartografia topográfica, ou em outras palavras, descrever o ambiente tão detalhada e fielmente como ele é na realidade.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nos capítulos anteriores foram apresentados alguns exemplos de representações tridimensionais, assim como o estado da arte da pesquisa em simbologia tridimensional. Neste capítulo serão apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, tanto os recursos de hardware como de software necessários à modelagem tridimensional e à proposta de simbologia 3D para representação de ambientes *indoor*.

3.1 MATERIAIS

Nesta sessão serão descritos os recursos de hardware e software empregados neste projeto.

Recursos de hardware:

- 1- Sensor Microsoft® Kinect.

Recursos de software:

- 1- PCL (*Point Cloud Library*): biblioteca desenvolvida em C++, de tipo Open Source e distribuída sob licença BSD (Berkeley Software Distribution). Esta biblioteca inclui algoritmos para processamento de nuvens de pontos n -dimensionais.
- 2- OpenCV (*Open Source Computer Vision*): biblioteca escrita em C/C++, multiplataforma e de tipo Open Source, distribuída sob licença BSD. Esta biblioteca inclui algoritmos de processamentos de imagens e visão computacional como emparelhamento de feições, visão-estéreo, detecção de objetos.
- 3- Ambiente de programação CodeBlocks Linux.
- 4- ESRI ArcScene: software do tipo SIG proprietário utilizado nesta pesquisa para importar as nuvens de pontos e exportá-las em formato WRL.
- 5- MeshLab: é definido como um sistema de processamento de malhas de pontos ou *meshes* usado para processar, de forma assistida pelo usuário, malhas irregulares triangulares 3D. Foi concebido para o processamento de malhas obtidas mediante

levantamentos feitos com scanners 3D. O software é baseado em bibliotecas VCG (*The Visualization and Computer Graphics Library*).

Os recursos de software 1, 2 e 3 fazem parte do processo de geração do modelo tridimensional *indoor*, que corresponde à primeira etapa da metodologia deste trabalho. A descrição dessa etapa é necessária para o entendimento da proposta e o desenvolvimento desta pesquisa. Os recursos 4 e 5 são utilizados para a etapa de verificação do uso das variáveis visuais para a proposta de simbologia 3D.

3.1.1 Sensor Kinect

Em novembro de 2010, a Microsoft® colocou no mercado o Kinect, um sensor totalmente inovador desenvolvido em parceria com a empresa PrimeSense (FIGURA 11). Este sensor foi concebido para permitir a interação natural entre o usuário e um ambiente computacional para videogames. Quase imediatamente após seu lançamento, a comunidade científica descobriu o potencial do sensor para aplicações além da área dos jogos, tornando-o um dispositivo para aplicações mais complexas, como por exemplo, o mapeamento de ambientes *indoor* e a modelagem 3D. É assim que, na atualidade, devido ao grande desenvolvimento que o Kinect tem experimentado desde sua inserção no mercado, o sensor tem se transformado numa ferramenta utilizada nas mais diversas áreas do conhecimento, tais como a educação, a saúde e a visão computacional, revolucionando a experiência de interação entre as pessoas e as máquinas.



FIGURA 11: CONJUNTO DE SENSORES ARRANJADOS NO DISPOSITIVO KINECT.
FONTE: Ifixit – Creative Commons (2010)

A essência do sensor Kinect é a possibilidade de capturar imagens RGB e de profundidade de modo simultâneo e com uma frequência de trinta quadros por segundo (30 fps). O resultado da integração destas imagens é uma nuvem de pontos colorida que contém aproximadamente 300.000 pontos por quadro adquirido. Por meio do registro dos pares de nuvens de pontos 3D é possível a obtenção de uma nuvem de pontos densa e completa de um ambiente *indoor* em tempo real ou pós processado (KHOSHELHAM e OUDE ELBERINK, 2012). Estruturalmente, o sensor é composto por um emissor de laser infravermelho, uma câmera infravermelha e uma câmera RGB (FIGURA 12).

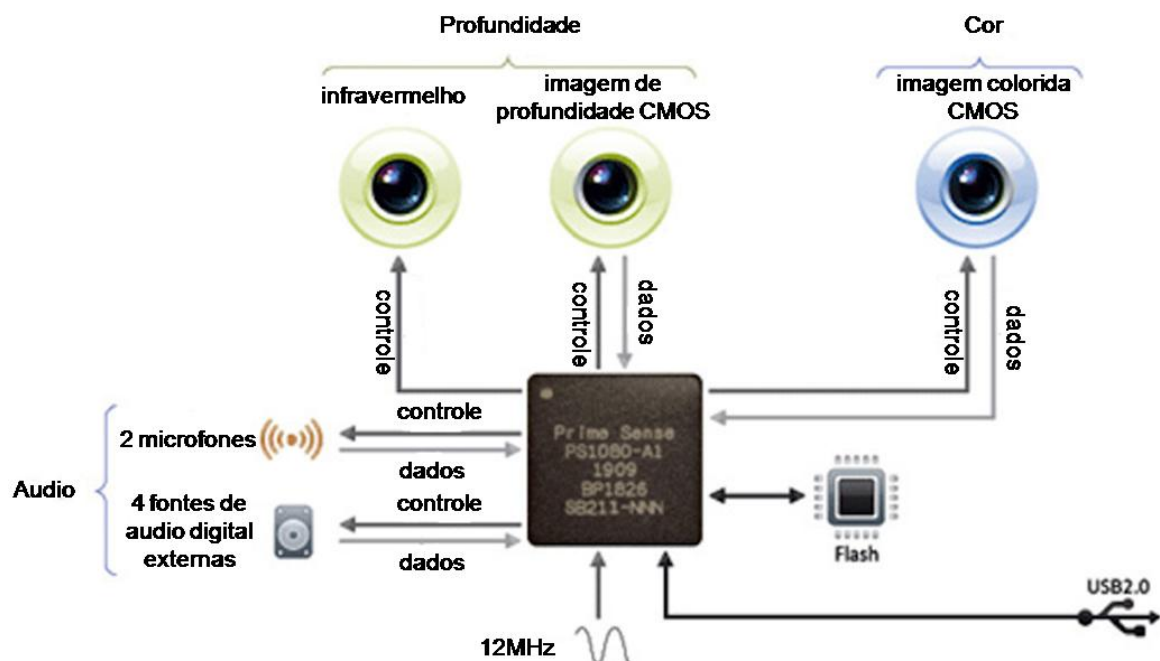


FIGURA 12: DIAGRAMA ESTRUTURAL DO SENSOR KINECT.
FONTE: PrimeSense (2010)

Os desenvolvedores do Kinect descrevem que a medida da profundidade feita pelo sensor é o resultado de um processo de triangulação (FREEDMAN *et al.*, 2010). A câmera RGB é um sensor de quadro com resolução de 640x480 pixels que registra três canais de 8 bits, vermelho, verde e azul (RGB), fornecendo uma profundidade total de 24 bits. Esta câmera também é composta por um Filtro de Bayer que coloca as cores num padrão de grade de cores alternadas. Além das câmeras, o sensor Kinect também está equipado com um grupo de microfones que permite a comunicação entre uma fonte emissora de voz e o sensor, atuando como

um receptor e interpretador de comandos ao separar a voz diretamente emitida na frente do dispositivo.

O sistema de sensores infravermelhos é composto por um emissor laser de diodo de 830 nm, correspondente à faixa espectral do infravermelho próximo, que emite um pulso que se espalha como padrão de luz estruturada. O padrão de luz é projetado e capturado por uma câmera IR, sendo então decodificado para produzir valores de paralaxe dos objetos na cena, que posteriormente podem ser convertidos em valores de profundidade. A câmera IR, composta por um sensor CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*), tem uma resolução de 320x240 pixels, um canal de 10 bits e FOV (*Field Of View*) horizontal e vertical de 57° e 43° respectivamente, assim como um filtro ótico com uma sensibilidade mínima para comprimentos de onda que diferem do diodo laser, resultando num padrão nítido da projeção sobre a imagem IR. Sua distância operacional varia entre 0,7 e 6,0 metros (KHOSHELHAM e OUDE ELBERINK, 2012).

3.1.2 Biblioteca PCL (*Point Cloud Library*)

A biblioteca PCL foi desenvolvida para o processamento de imagens 2D e nuvens de pontos 3D. É um projeto de código aberto de grande porte, livre para uso tanto comercial como de pesquisa ao ser desenvolvido com licença Open Source de tipo BSD. A biblioteca contém vários algoritmos pioneiros no estado da arte em filtragem, estimação de feições, reconstrução de superfícies, modelagem e segmentação. A grande vantagem da PCL é sua característica multi-plataforma, portanto, é compatível com sistemas operacionais Linux, MacOS, Windows e Android/iOS. A lógica da estrutura e desenvolvimento deste projeto se baseia num conjunto de bibliotecas menores escritas em linguagem de programação C++ que podem ser compiladas independentemente.

As nuvens de pontos tridimensionais compatíveis com a PCL podem ser geradas por levantamentos feitos com sensores como estereocâmeras, *scanner* 3D, câmeras ToF (*Time of Flight*), ou inclusive por geração sintética por computador. As nuvens de pontos são estruturas de dados usadas para representar pontos multi-dimensionais, comumente dados tridimensionais representados por coordenadas geométricas X, Y, e Z de uma superfície. Nesse contexto, a PCL suporta a aquisição e processamento de nuvens de pontos com o sensor Microsoft® Kinect.

3.1.3 Biblioteca OpenCV (*Open Source Computer Vision*)

A OpenCV é uma biblioteca de tipo *Open Source* com licença BSD para visão computacional e *machine learning*, desenvolvida para prover uma infraestrutura comum para aplicações na área da visão computacional, e com o objetivo de acelerar o uso da percepção das máquinas em produtos comerciais. A biblioteca é composta por mais de 2.500 algoritmos otimizados, tanto clássicos como modernos e atuais, que podem ser utilizados para detectar e reconhecer faces, identificar objetos, classificar ações humanas em vídeos, rastrear movimentos de objetos, extrair modelos 3D de objetos, produzir nuvens de pontos 3D, rastrear o movimento dos olhos, reconhecer cenas, dentre outras aplicações.

A diversidade de interfaces de programação da biblioteca incluem C++, C, Python, Java e Matlab. Os sistemas operacionais compatíveis são Windows, Linux, Android e MacOS. A OpenCV é desenvolvida em C++ como linguagem nativa. Para esta pesquisa a OpenCV versão 2.4.2 trabalha em simultâneo com a PCL versão 1.7 num ambiente de programação CodeBlocks Linux.

3.2 MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho está dividida, basicamente, em duas etapas: 1) a geração do modelo 3D do ambiente *indoor* e; 2) a proposta de simbologia 3D para ambientes *indoor*. Cada etapa contém a descrição do método utilizado e os produtos que se espera obter como resultado. O foco fundamental desta pesquisa em simbolização 3D de representações de ambientes *indoor* consistiu em utilizar o modelo tridimensional *indoor*, gerado na primeira etapa da metodologia proposta, como produto da coleta de dados com o sensor Kinect, para estudar as variáveis visuais e os efeitos visuais que influenciam na proposta de simbologia 3D. A Figura 13 apresenta o fluxograma da metodologia proposta. Antes da segunda etapa, foi realizada uma análise do modelo tridimensional de cada ambiente amostral com apoio da metodologia proposta por Mehranfar (2013) para a classificação dos planos detectados e que foram os elementos considerados para ser simbolizados.

Deve ser considerado que a tecnologia usada para a geração do modelo produz uma nuvem de pontos tridimensional que pode não conseguir detectar todos os elementos existentes na cena, especialmente aqueles de superfície translúcida ou com alta incidência de luminosidade, assim como aqueles de tamanho menor e forma irregular. Como consequência, não foi possível representar todos os objetos mediante simbologia 3D, o que necessariamente levou à consideração e aplicação de processos de generalização cartográfica. Uma abordagem para generalização 3D é apresentada por Sester (2007). De acordo com a autora, a demanda por modelos de cidades 3D tem despertado o interesse pela generalização de edificações, o que levou também à definição do padrão CityGML para definir uma ontologia para edificações com diferentes níveis de detalhamento, sendo o nível LoD1 o mais simplificado com formas geométricas básicas e o LoD4 uma representação arquitetônica elevada que inclui elementos *indoor*. A proposta desta pesquisa foi identificar os elementos básicos que compõem o ambiente *indoor*, classificá-los e posteriormente considerá-los como um modelo de superfícies para a etapa de verificação do uso das variáveis visuais para a construção de simbologia 3D.

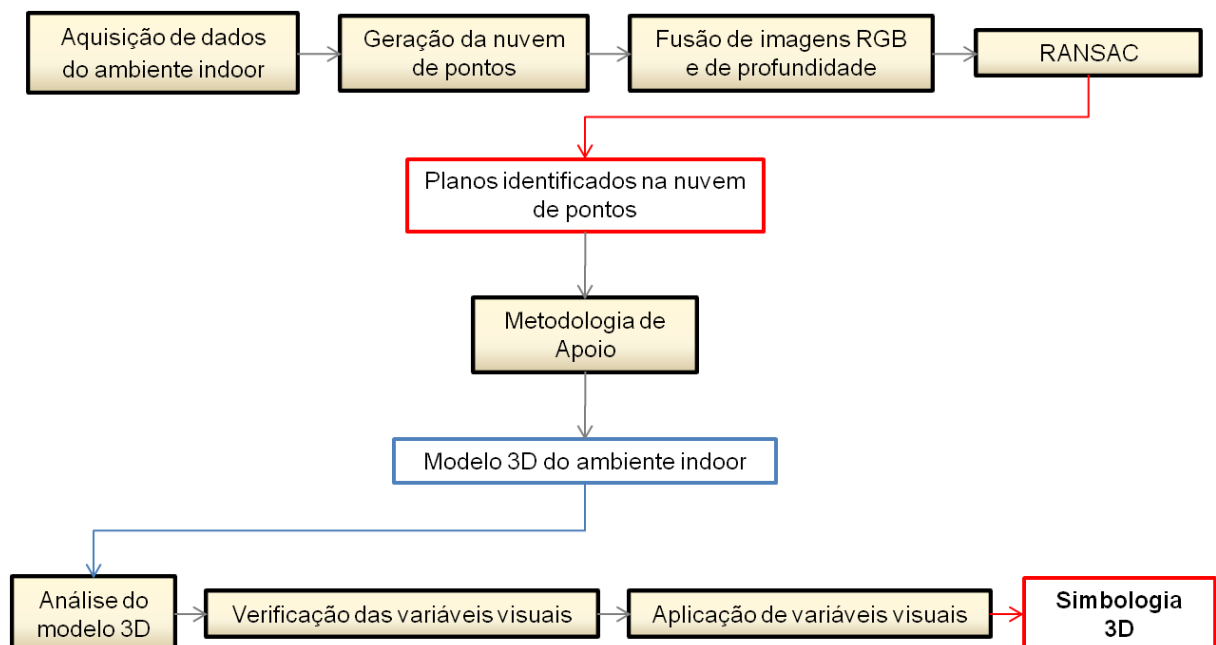


FIGURA 13: FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA PROPOSTA.
FONTE: Autor (2014)

3.2.1 Modelagem 3D

3.2.1.1 Aquisição de dados e geração da nuvem de pontos 3D

O sensor Kinect foi utilizado, nesta pesquisa, para gerar as nuvens de pontos 3D que devidamente registradas propiciam um modelo 3D do ambiente *indoor*, que por sua vez foi considerado para verificar o uso das variáveis visuais que compõem a simbologia 3D que é apresentada neste trabalho. O processamento da nuvem de pontos, produto da coleta de dados tridimensionais a cargo do sensor, foi realizada por meio de algoritmos computacionais advindos da visão computacional, os quais têm sido desenvolvidos em bibliotecas escritas em linguagem C/C++. O produto do processamento é a detecção dos planos presentes no ambiente *indoor*, elementos que foram considerados o insumo principal para a verificação dos aspectos influentes na proposta de simbologia 3D.

O uso de sensores de profundidade tem sido o tema de estudo de vários e importantes trabalhos recentes relacionados a tarefas de entendimento e interpretação de ambientes *indoor* e detecção de objetos (HENRY *et al.*, 2010; SHAO *et al.*, 2012; KHOSHELHAM e OUDE ELBERINK, 2012). Em muitos casos, o sensor Microsoft® Kinect foi utilizado para medição de profundidade em lugar de outras tecnologias existentes, como o LiDAR (*Light Detection And Ranging*) ou as câmeras de distância ToF, principalmente devido à sua precisão, compacidade, portabilidade e baixo custo. Estas características têm popularizado o Kinect para seu uso em aplicações voltadas para ambientes *indoor* (SILBERMAN; FERGUS, 2011).

Para a modelagem tridimensional do ambiente *indoor*, basicamente cinco etapas são requeridas (FIGURA 14), a saber: (1) Primeiramente, é realizada a aquisição dos dados, imagens RGB e valores de disparidade, usando o dispositivo Kinect, previamente calibrado em laboratório; (2) Posteriormente, uma nuvem de pontos 3D é gerada usando o modelo matemático proposto por Khoshelham e Oude Elberink (2012); (3) Uma fusão das imagens RGB e de profundidade é realizada; (4) O estimador robusto RANSAC é empregado para detectar planos e remover *outliers*; (5) Finalmente, as superfícies planas são automaticamente reconhecidas no ambiente *indoor* e podem ser visualizadas tridimensionalmente.

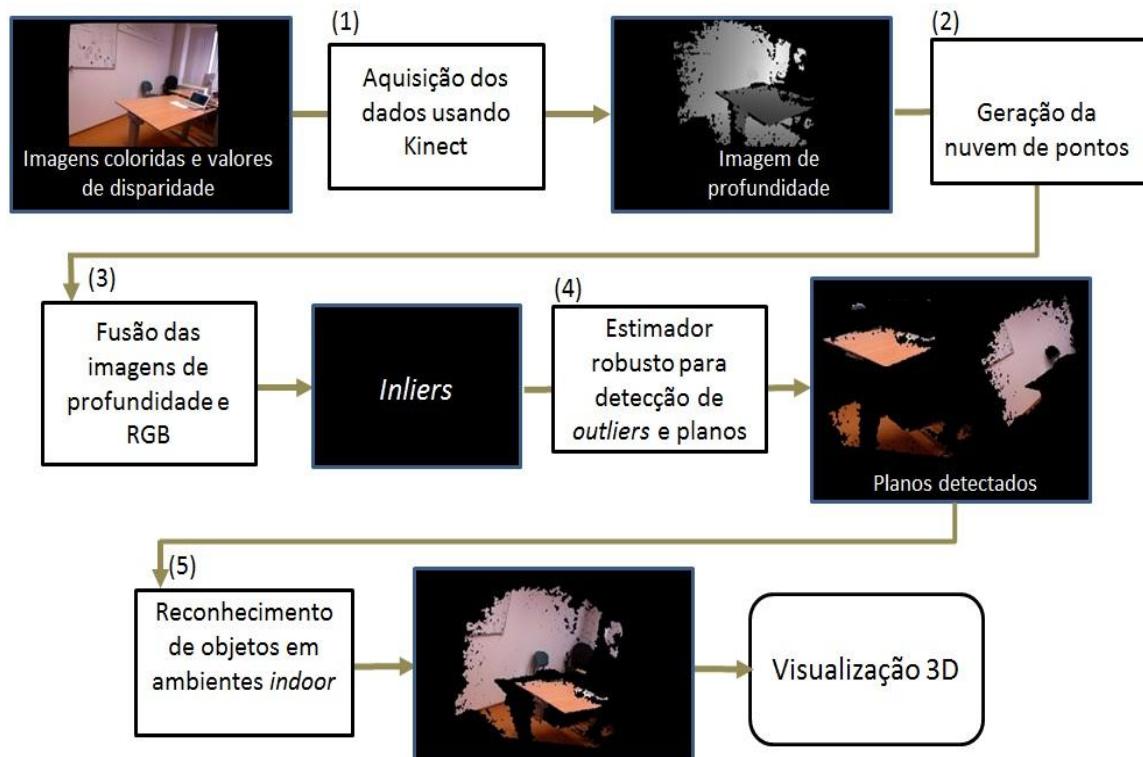


FIGURA 14: FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE MODELAGEM 3D.
 FONTE: Santos *et al.* (2013)

De acordo com Freedman *et al.* (2010), as informações de profundidade são calculadas baseadas no princípio de triangulação. O laser IR emite um pulso que é dividido em múltiplos pulsos por um processo de difração, resultando num padrão de luz estruturada que é projetada no plano objeto. O plano referencial do padrão de luz estruturada marca a distância do sensor ao plano de referência onde é projetado o padrão de luz estruturada. Tal plano é armazenado na memória do sensor no momento da aquisição da informação. Quando um ponto qualquer do padrão de luz estruturada é projetado no plano objeto, sua posição é deslocada na imagem IR, sempre que a distância ao sensor seja maior ou menor do que aquela impressa no plano referencial do padrão de luz estruturada. A Figura 15 mostra o modelo matemático proposto por Khoshelham e Oude Elberink (2012), ele descreve a relação entre a distância de um ponto $P(X, Y, Z)$ na superfície ao sensor, relativo ao plano de referência do padrão de luz estruturada e a medida de paralaxe (d).

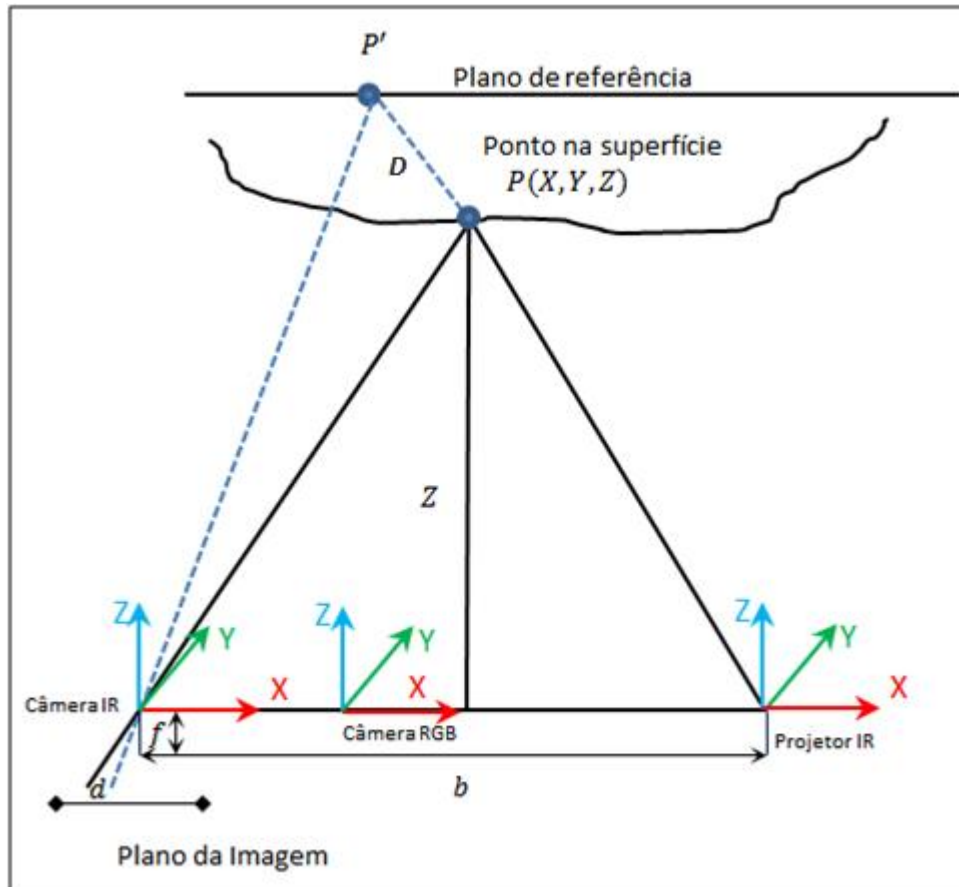


FIGURA 15: GEOMETRIA PARA O CÁLCULO DE COORDENADAS 3D.

FONTE: Khoshelham e Oude Elberink (2012) adaptado por Santos *et al.* (2013)

O sistema referencial do sensor IR é um sistema tridimensional com origem no centro de projeção da câmera IR, sendo o eixo Z ortogonal ao plano imagem apontando para o objeto, enquanto o eixo X é perpendicular ao eixo Z na direção da linha de base determinada entre a câmera IR e o emissor laser e, o eixo Y é ortogonal aos eixos X e Z tornando o sistema de coordenadas dextrógiro. O deslocamento dos pontos no padrão da imagem de referência resultante é medido como valores de paralaxe no plano imagem da câmera IR. A mudança ocorre essencialmente ao longo do eixo X, uma vez que o eixo X da câmera IR e do projetor laser IR são paralelos nesta direção, separados por uma distância que define a linha de base (b). O padrão de luz estruturada é registrado pela câmera IR, sendo então decodificado. Para estimar a paralaxe (d), o sensor Kinect calcula a correlação entre cada ponto P no plano objeto e o ponto correspondente no padrão de referência P' , produzido sobre a superfície imageada. (KONOLIGE; MIHELICH, 2010).

A paralaxe é calculada matematicamente da seguinte maneira: assumindo que um objeto está no plano referencial do padrão de luz estruturada, a uma distância Z_0 ao sensor, e um ponto P do padrão de luz estruturada é registrado no plano focal da câmera IR. Se o objeto está próximo (ou distante) do sensor, a localização do ponto P no plano focal será deslocada na direção do eixo X . Esta é a medida de paralaxe (d) no espaço imagem, correspondente ao ponto P no espaço objeto. Por semelhança de triângulos, tem-se:

$$\frac{D}{b} = \frac{Z_0 - Z}{Z_0} \quad (1)$$

$$\frac{d}{f} = \frac{D}{Z} \quad (2)$$

Nas equações 1 e 2, Z denota a distância (profundidade) do ponto P no espaço objeto, f é a distância focal da câmera IR, D é o deslocamento de P no espaço objeto, e d é a paralaxe observada no espaço imagem. Substituindo D da equação 2 na equação 1, tem-se:

$$Z = \frac{Z_0}{1 + \frac{Z_0}{fb} d} \quad (3)$$

Vale ressaltar que o sensor não retorna a imagem de paralaxe bruta. Em vez disso, ele fornece os valores normalizados, entre 0 e 2047 (11-bit inteiro). A equação (4) define a relação entre a paralaxe bruta e seu valor normalizado (d'), sendo, m e n os fatores de normalização.

$$d = md' + n \quad (4)$$

Substituindo a equação 4 na equação 3 e fazendo as devidas manipulações matemáticas, tem-se:

$$Z^{-1} = \left(\frac{m}{fb} \right) d' + \left(Z_0^{-1} + \frac{n}{fb} \right) \quad (5)$$

Desde que os parâmetros Z_o , b e f sejam devidamente obtidos por um processo de auto-calibração, a equação 5 pode ser usada para calcular os valores de profundidade. A coordenada Z do ponto, juntamente com a distância focal, determinam a escala de cada ponto. Sendo assim, as coordenadas planimétricas podem ser obtidas por meio das equações:

$$\begin{aligned} X &= \frac{Z}{f}(x' + x_o + \delta x) \\ Y &= \frac{Z}{f}(y' + y_o + \delta y) \end{aligned} \quad (6)$$

Onde, $x' y'$ são coordenadas do ponto imagem (observadas no plano focal da câmera IR), $x_o y_o$ são as coordenadas do ponto principal e $\delta x \delta y$ os coeficientes de distorção das lentes. Finalmente, tem-se como resultado uma nuvem de pontos tridimensional, cujos valores X , Y , e Z são atribuídos a cada ponto na superfície física imageada.

3.2.1.2 Detecção automática de superfícies planas com RANSAC

A extração de planos é o problema de modelar uma nuvem de pontos 3D como um grupo de planos que idealmente representam cada ponto existente nesta nuvem (BORRMANN *et al.*, 2011). As duas metodologias mais conhecidas e estudadas na área da Visão Computacional são o algoritmo RANSAC, introduzido por Fischler e Bolles (1981), e a Transformação de Hough, popularizada por Ballard (1981). O princípio do algoritmo RANSAC consiste na busca do melhor plano possível dentre os prováveis existentes numa nuvem de pontos 3D, reduzindo o número de iterações, mesmo que o número de pontos seja elevado. Para isso, o algoritmo seleciona aleatoriamente três pontos da nuvem e calcula os parâmetros do plano definido por esses três pontos. Em seguida, ele vai determinar todos os pontos que pertencem ao plano diretamente na nuvem de pontos original segundo um limiar (*threshold*) pre-estabelecido. O processo se repete iterativamente, comparando em cada ocasião o novo resultado calculado com o último armazenado na lista de

pontos, de modo que, se um novo resultado for encontrado, o algoritmo atualiza automaticamente o novo plano substituindo-o pelo último plano armazenado.

Uma vantagem do RANSAC é a capacidade de distinguir entre *inliers* e *outliers* presentes numa nuvem de pontos (FIGURA 16), característica que é uma debilidade na aplicação do método dos mínimos quadrados para detecção de planos (NASIR; HILLE; ROTH, 2012). Pela sua natureza, o algoritmo RANSAC é altamente eficaz na detecção de planos extensos em nuvens de pontos com uma presença elevada de *outliers*, no entanto, ele não é recomendado para detectar planos menores em condições similares (DESCHAUD; GOULETTE, 2010).

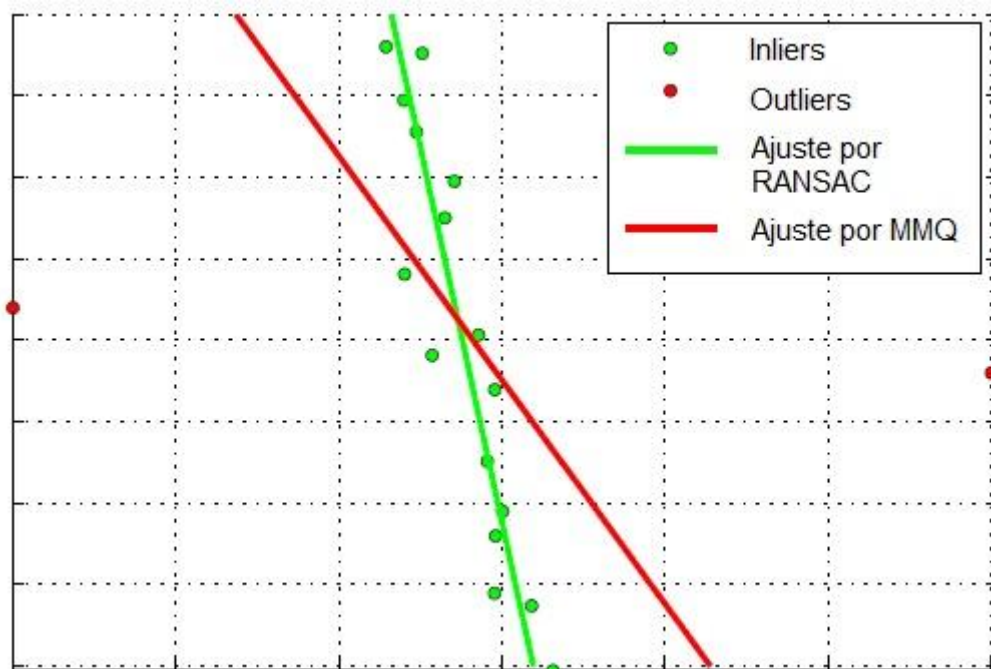


FIGURA 16: MÉTODO RANSAC VS. MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS (MMQ).
FONTE: Zuliani, Kenney e Manjunath (2005)

Para estimar as superfícies planas dos ambientes *indoor* selecionados neste trabalho foi empregado o método de regressão robusta RANSAC disponível na biblioteca PCL através do seu módulo *sample_consensus*. Neste caso, os pontos tridimensionais presentes na nuvem de pontos podem ser classificados como *inliers* ou *outliers* de forma iterativa. A Figura 17 mostra o funcionamento básico do RANSAC.

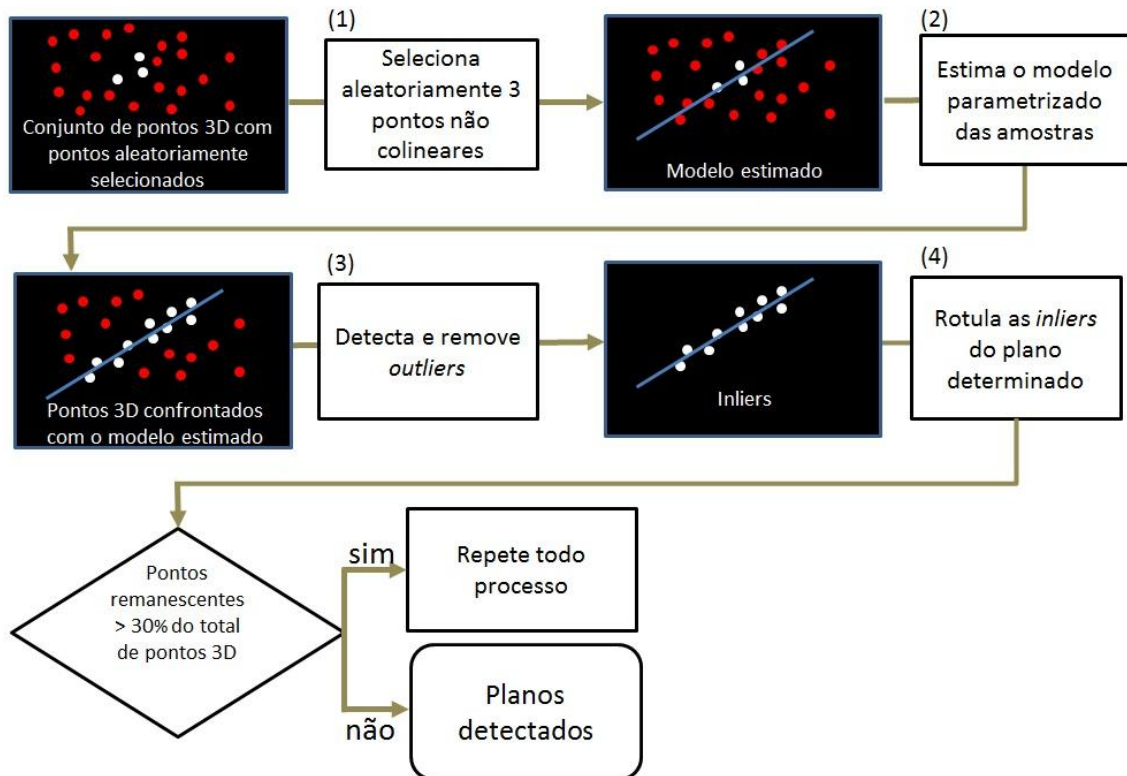


FIGURA 17: FUNCIONAMENTO BÁSICO DO MÉTODO RANSAC.
 FONTE: Santos *et al.* (2013)

Em Nasir, Hille e Roth (2012) é detalhado o algoritmo RANSAC aplicado para extração de planos a partir de uma nuvem de pontos tridimensional. A primeira etapa é a selecção aleatoria de três pontos $P_1(x_1, y_1, z_1)$, $P_2(x_2, y_2, z_2)$ e $P_3(x_3, y_3, z_3)$ na nuvem de pontos para determinar a equação do plano que contenha esses pontos:

$$\begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = 0 \quad (7)$$

Em seguida, os pontos são classificados como *inliers* aqueles que tem uma mínima distância ao plano e que vão ser considerados para determinar a equação do plano ou, como *outliers*, aqueles que estão mais distantes do plano segundo um limiar prestabelecido. A distância entre um ponto tridimensional e o plano é calculada por: $d = x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma + p$, onde d é a distância do ponto $P(x, y, z)$ ao plano e, $\cos \alpha$, $\cos \beta$, $\cos \gamma$ e p são os parâmetros do plano na forma

hessiana (matriz quadrada com valores das derivadas parciais de segunda ordem). As duas etapas do RANSAC vão se repetir indeterminadamente até ser atingido um número predeterminado de *inliers* ou um número máximo de iterações. Os *inliers* identificados são usados para o cálculo dos parâmetros do plano por meio de sua forma hessiana:

$$x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma + p = 0 \quad ; \quad (8)$$

A equação 8 pode ser escrita também na sua forma matricial, tal como $AX = 0$, onde A representa a matriz com os valores dos parâmetros do plano e X as coordenadas para cada ponto P . A solução de X é encontrada por meio do método dos mínimos quadrados (MMQ).

3.2.2 Classificação dos planos detectados

A análise do modelo 3D do ambiente *indoor* que foi utilizado nesta pesquisa precisou de uma metodologia de apoio para o tratamento matemático dos planos detectados pelo RANSAC (FIGURA 18).

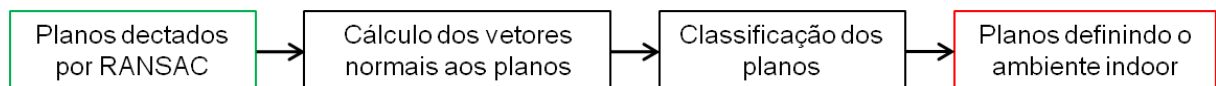


FIGURA 18: CLASSIFICAÇÃO DOS PLANOS DETECTADOS PELO RANSAC.
FONTE: Modificada de Mehranfar (2013)

Esta metodologia foi proposta por Mehranfar (2013) e consiste em duas etapas, a saber: (1) estimação dos vetores normais dos planos e; (2) classificação dos planos. A estimação dos vetores normais é o resultado do cálculo dos parâmetros do plano que, segundo Nasir, Hille e Roth (2012), incluem três normais aos planos e a distância perpendicular calculada desde o plano detectado ao plano referencial do sistema. A classificação dos planos é dependente dos valores das normais calculados no passo anterior. Em um cenário ideal, onde os vetores normais aos planos são correspondentes aos eixos do sistema de referência local, as condições de classificação seriam:

- o vetor normal da parede frontal corresponde ao eixo Y ($n = (0,1,0)^T$).
- o vetor normal da parede à direita na cena corresponde ao eixo X ($n = (1,0,0)^T$).
- o vetor normal do teto corresponde ao eixo Z ($n = (0,0,1)^T$).
- a parede posterior é oposta à frontal; a parede da esquerda é oposta à da direita e; o chão é o plano oposto ao teto.

Com estas condições os planos podem ser classificados mediante as seguintes condições (TABELA 01).

Plano	Vetor normal	Condições		
	n	n_x	n_y	n_z
Teto	$[0 \ 0 \ 1]^T$	$-0,2 \leq \leq 0,2$	$-0,2 \leq \leq 0,2$	$0,8 \leq \leq 1,0$
Chão	$[0 \ 0 \ -1]^T$	$-0,2 \leq \leq 0,2$	$-0,2 \leq \leq 0,2$	$-1,0 \leq \leq -0,8$
Parede frontal	$[0 \ 1 \ 0]^T$	$-0,2 \leq \leq 0,2$	$0,8 \leq \leq 1,0$	$-0,2 \leq \leq 0,2$
Parede posterior	$[0 \ -1 \ 0]^T$	$-0,2 \leq \leq 0,2$	$-1,0 \leq \leq -0,8$	$-0,2 \leq \leq 0,2$
Parede à direita	$[1 \ 0 \ 0]^T$	$0,8 \leq \leq 1,0$	$-0,2 \leq \leq 0,2$	$-0,2 \leq \leq 0,2$
Parede à esquerda	$[-1 \ 0 \ 0]^T$	$-1,0 \leq \leq -0,8$	$-0,2 \leq \leq 0,2$	$-0,2 \leq \leq 0,2$

TABELA 01: Condições usadas para classificar planos.

FONTE: Mehranfar (2013)

Os valores acima tabelados são produto de experimentos empíricos e devem ser considerados uma aproximação aos valores reais que só serão determinados pelas características específicas de cada ambiente.

3.2.3 Proposta de simbologia 3D para ambientes *indoor*

Esta parte da metodologia trata da utilização do modelo 3D gerado na etapa anterior para a verificação do uso das variáveis visuais e os efeitos visuais que influenciam na proposta de simbologia 3D de ambientes *indoor*.

3.2.3.1 Análise do modelo 3D

A modo de exemplo, na Figura 19 apresenta-se a imagem de uma parte de uma nuvem de pontos que foi classificada como teto.

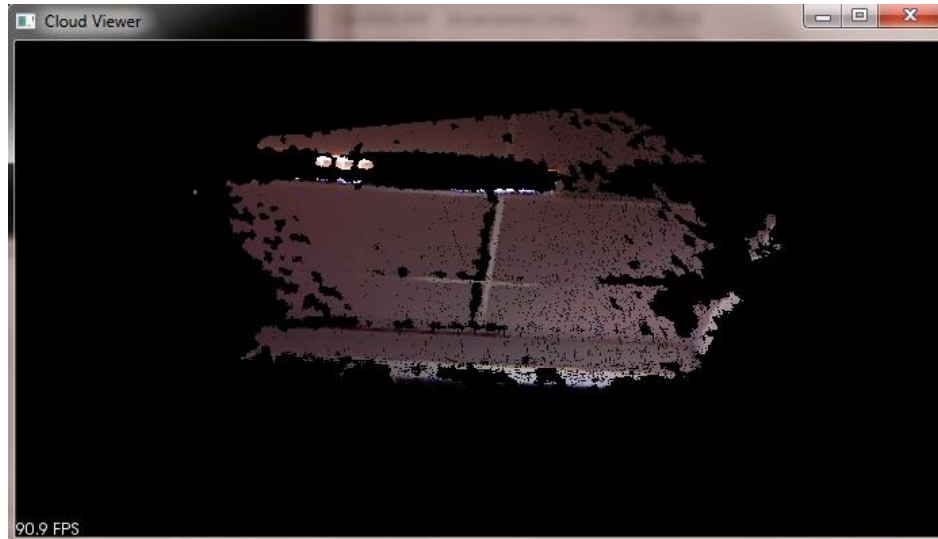


FIGURA 19: SUPERFÍCIE PLANA CLASSIFICADA COMO TETO.
FONTE: Autor (2014)

O formato de saída do processamento é determinante para as seguintes etapas. A etapa de classificação dos planos resultante do processamento por algoritmos computacionais gera um arquivo de nuvem de pontos em formato PCD (*Point Cloud Data*). O formato PCD foi criado pela PCL depois de detectar a necessidade de se ter um formato que considerasse todas as características geométricas e de aspecto possíveis em dados tridimensionais e que possam ser expressadas num só arquivo. No entanto, este formato não é compatível com outros softwares de processamento fora do ambiente PCL, fato que dificulta a exploração de nuvens de pontos diretamente a partir da PCL em software de tipo SIG. O arquivo deve ser modificado para torná-lo um arquivo com formato simples de texto, o qual é possível ser adequado para ser compatível com outros softwares e facilitar o seu processamento. Isto é necessário já que o produto do modelo gerado com o sensor é um grupo de nuvens de pontos tridimensionais que definem os planos presentes no ambiente, mas esses planos por si só não nos proporcionam informação suficiente para criar a representação procurada. Através de uma conversão de formatos é possível transformar as nuvens de pontos em arquivos de camada de tipo *shapefile* (.shp da ESRI) para trabalhar no software ArcScene. Uma grande

desvantagem é a impossibilidade de simbolizar os pontos 3D com a cor correspondente advinda da captura do sensor RGB do Kinect. Não existe uma rotina sistematizada no software que permita atribuir cores aos pontos, como parte da simbologia, a partir de informação armazenada na tabela de atributos da camada.

O cenário ideal é contar com formatos compatíveis com softwares de processamento de nuvens de pontos ou malhas, considerando isto, recomenda-se utilizar os algoritmos disponíveis na PCL que permitem a exportação em formato *PLY (Polygon File Format or Stanford Triangle Format)*. Cabe ressaltar que neste trabalho foram utilizados ambos os formatos porque na fase inicial da pesquisa não foi possível contar com o formato *PLY*, o que levou a realizar o processamento das nuvens originalmente em formato *PCD* no software intermediário *ArcScene*, sendo transformadas em *shapefiles* de pontos tridimensionais, processo que acarretou em maior emprego de tempo. Em todo caso, no Capítulo 4 decidiu-se apresentar toda a experiência com o objetivo de ilustrar os possíveis cenários que podem ser enfrentados por futuros pesquisadores interessados nesta área do conhecimento.

3.2.3.2 Verificação do uso das variáveis visuais

As pesquisas de Häberling (2002, 2004), Häberling, Bär e Hurni (2008), Fosse (2008), Fosse, Centeno e Sluter (2009) e Schmidt (2012) serviram como referência para a identificação das variáveis visuais e os efeitos de visualização que influenciam na representação tridimensional de ambientes *indoor*, considerados neste trabalho. Fosse (2008) realizou a identificação e classificação das variáveis visuais e complementares que devem ser consideradas na representação de cenas 3D (FIGURA 20). Encontram-se variáveis visuais tais como o tamanho, a forma, a textura e o tom de cor, assim como aspectos de visualização como a iluminação, o sombreamento e a configuração da câmera. A presente pesquisa procurou verificar o uso destes aspectos de forma análoga para ambientes *indoor*, com o objetivo de determinar os parâmetros que podem ser aplicados em projetos de simbologia 3D de ambientes *indoor*.

As variáveis visuais que foram consideradas especificamente para esta pesquisa são: tom de cor e textura. Elas são variáveis usadas para diferenciar os planos quando aplicada uma simbologia específica para cada classe de plano. Os efeitos visuais considerados foram: iluminação, sombreamento e configuração da

câmera. A iluminação pode ser modificada para recriar ambientes de maneira a aproximá-los da realidade, contudo, sua aplicação deve ser cuidadosa devido a que vai afetar todos os objetos da cena. As sombras dão um efeito realístico aos objetos, mas sua aplicação deve garantir a correta interpretação da cena e evitar a oclusão dos objetos. As configurações da câmera consideram o ângulo de elevação e a posição da câmera no ambiente *indoor*, determinando o ponto de vista de um espectador hipotético presente na cena. As mudanças que são feitas para este aspecto podem acarretar diferentes interpretações do mesmo ambiente, dependendo da posição relativa da câmera em relação aos objetos.

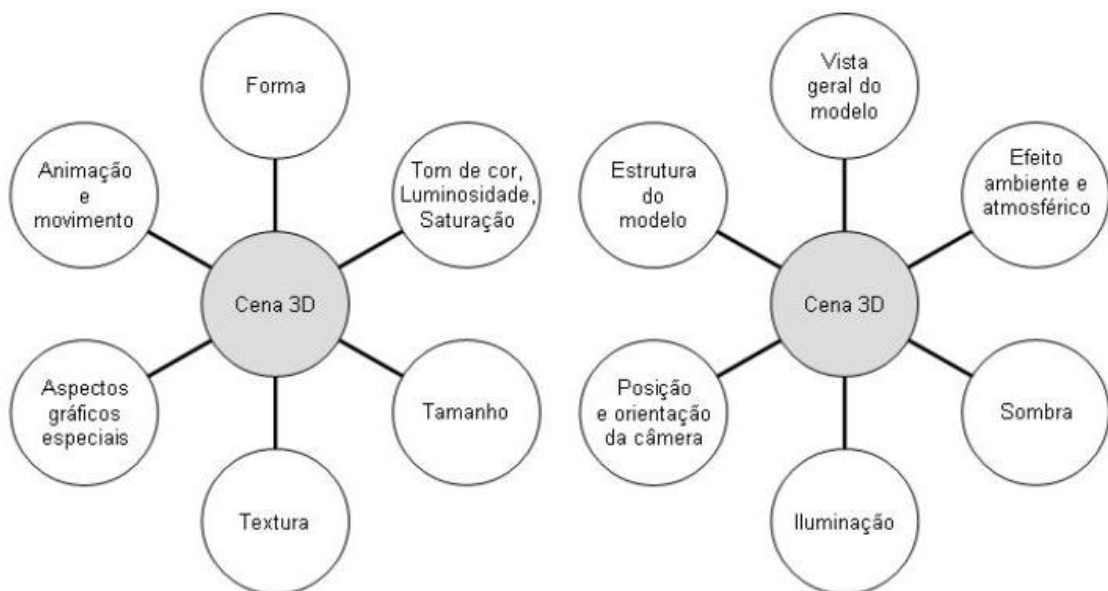


FIGURA 20: VARIÁVEIS VISUAIS E COMPLEMENTARES (DE VISUALIZAÇÃO).
FONTE: Originalmente propostas por Häberling (2004) e adaptadas por Fosse (2008)

Um insumo importante para esta etapa do trabalho foi o inventário de princípios para projetos cartográficos 3D, apresentado por Häberling (2004), o qual resultou da aplicação de uma série de testes qualitativos em usuários especialistas. Esta pesquisa foi conduzida através da geração de diversas representações 3D de uma mesma área de estudo, cada uma com alterações dos valores dos aspectos gráficos e de visualização, resultando em várias representações com visuais diferentes. Parte da proposta deste trabalho consistiu em gerar várias representações dos ambientes *indoor* amostrais, de modo a permitir uma verificação do uso das variáveis visuais que levou à seleção dos parâmetros que podem ser considerados para projetos de simbologia tridimensional *indoor*.

3.2.3.3 Aplicação das variáveis para a proposta de simbologia 3D

Uma vez verificado o uso das variáveis visuais e os efeitos de visualização que influenciam a simbolização de ambientes *indoor*, procedeu-se à aplicação dos parâmetros das variáveis visuais que melhor se adaptaram ao estudo e que poderiam ser recomendadas para representações 3D de ambientes *indoor*. Para esta etapa, foi necessário criar várias representações aplicando mudanças na definição de cada variável e analisando o seu efeito sobre os objetos representados da cena 3D, procedimento semelhante ao realizado por Häberling (2004), destacando-se que nesta ocasião o usuário alvo é o público geral, razão pela qual a representação deve ser entendida por qualquer usuário, experiente ou não em Cartografia.

A aplicação dos parâmetros para os efeitos de visualização: iluminação, sombreamento e configuração da câmera, que melhor se adaptaram ao estudo foram determinados de forma semelhante ao utilizado na etapa anterior. O processo se fundamentou na análise das representações criadas a partir da aplicação de mudanças visuais com objetivo de conseguir identificar aquela representação que contribua significativamente com a definição dos parâmetros para a proposta de simbologia tridimensional para ambientes *indoor*.

O recurso de software proposto para esta etapa de verificação foi o MeshLab v.1.3.2. Para poder usar este recurso, a nuvem de pontos foi primeiramente exportada em um formato compatível com o software, que pode ser o formato WRL (*Virtual Reality Model Language* - VRML) ou PLY.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho de pesquisa, os experimentos foram realizados utilizando dados de três ambientes amostrais, com o objetivo de verificar o uso das variáveis visuais e os efeitos de visualização aplicados aos planos reconstruídos a partir de nuvens de pontos 3D, a saber:

1) Ambiente *indoor* localizado num corredor entre os laboratórios de Sensoriamento Remoto e Fotogrametria do Bloco 6 do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (FIGURA 21);

2) Ambiente *indoor* correspondente a um escritório localizado no Departamento de Mapeamento Topográfico do ITC (*Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation*), na Holanda (FIGURA 22);

3) Ambiente *indoor* de um laboratório de estudo também localizado no ITC (FIGURA 23). Neste caso a nuvem de pontos é completa, produzida por registro de nuvens de pontos consecutivas.



FIGURA 21: IMAGEM DO AMBIENTE AMOSTRAL 1: CORREDOR.
FONTE: Santos *et al.* (2013)

O motivo para a definição de três ambientes *indoor* amostrais diferentes é possibilitar a realização de análises comparativas que possam conduzir a conclusões relacionadas à simbologia 3D para ambientes *indoor*. Ao usar estes ambientes procura-se determinar a influência da alteração dos diferentes parâmetros que definem a simbologia 3D para cada caso e como ela é afetada pelas

características próprias de cada ambiente, como o tamanho, o número de objetos (superfícies planas) presentes, a distribuição desses objetos, as condições de iluminação e as sombras.



FIGURA 22: IMAGEM DO AMBIENTE AMOSTRAL 2: ESCRITÓRIO.
FONTE: Santos *et al.* (2013)

O ambiente amostral de maior tamanho, comparado com todos os ambientes considerados para esta pesquisa, e que apresentou maior número de planos é o ambiente 3. Um total de 7 planos foram detectados neste ambiente amostral que demonstrou ser apto para as análises propostas.



FIGURA 23: NUVEM DE PONTOS DO AMBIENTE AMOSTRAL 3: LABORATÓRIO.
FONTE: Santos *et al.* (2013)

As variáveis visuais tom de cor e textura permitem, nesta pesquisa, distinguir objetos de classes diferentes mas de uma mesma categoria. Neste trabalho, a

categoria plano contém várias classes que foram definidas depois de testar o sensor e conhecer os elementos que podiam ser considerados para ser representados. O processo de detecção de planos mediante a implementação da metodologia de apoio permite detectar três classes: teto, parede e chão. A textura para cada plano deve ser única e o mais semelhante possível ao objeto real, de modo a representar cada elemento presente na cena e que possa ser identificado e corretamente interpretado. Em planos que contém vários elementos de tamanho representativo, como por exemplo as paredes, onde é possível encontrar portas, janelas, lâmpadas, inclusive armários, se pode aplicar uma textura fotorealística para diferenciar cada objeto em uma classe única. No entanto, este processo necessita que a superfície não apresente tantas irregularidades, como excessiva rugosidade, condição que é difícil de obter após o processamento de nuvens de pontos não organizadas.

Esses planos, transformados em superfícies, que fazem parte do modelo tridimensional, são usados para o processo de verificação dos aspectos da simbologia, e recebem mudanças na sua representação ao serem alterados os parâmetros que definem os efeitos de sombreamento, iluminação e configuração da câmera. Como exemplo, para Schmidt (2012) a configuração da câmera deve ser definida mediante um ângulo de elevação próximo aos 45° e sem perder a linha do horizonte, para que a representação tridimensional seja percebida em perspectiva e a maior parte dos objetos não sofram oclusão, isto no contexto de pontos de referência em representações 3D de ambientes *outdoor*. Para chegar a essa conclusão, o autor avaliou o efeito ao se definir como parâmetro os ângulos de 42° , 46° e 50° .

4.1 RECONSTRUÇÃO DE SUPERFÍCIES

O processo de reconstrução de superfícies inicia com a disponibilidade de dados das nuvens de pontos 3D processadas após serem capturadas pelo sensor. As nuvens de pontos podem ter sido escritas em formato PCD, que foi o caso dos conjuntos de dados dos ambientes amostrais 1 e 2, em cujo caso o processo de reconstrução de superfícies começa com a modificação desses arquivos para poder compatibilizar o formato de saída da nuvem de pontos com os softwares de processamento que são usados depois. No software ESRI ArcScene é importado o arquivo contendo os dados da nuvem de pontos modificado, o qual basicamente é

um arquivo TXT que contém todos os pontos e suas coordenadas tridimensionais arranjados em colunas. Este arquivo foi convertido em um arquivo no formato *shapefile* (.shp), que considera a componente Z de cada um dos pontos como o atributo que define a tridimensionalidade. A seguir, este arquivo foi exportado em formato VRML (.wrl) reconhecido pelo software MeshLab. Este novo formato consiste numa malha de pontos tridimensionais que pode ser explorada pelas ferramentas de processamento que o software oferece.

No caso de contar com nuvens de pontos em formato PLY, como aconteceu com o ambiente amostral 3, o processo de reconstrução pode começar diretamente no software MeshLab. Como observado no item 3.2.3.1 deste trabalho, decidiu-se apresentar ambas as experiências com o objetivo de mostrar os possíveis cenários que podem acontecer quando processadas as nuvens de pontos 3D por algoritmos da visão computacional que não são precisamente concebidos nem pensados para aplicações cartográficas.

A reconstrução de superfícies a partir dos pontos que formam a malha tridimensional acontece em três passos principais: a amostragem por discos de Poisson; o cálculo das normais para cada ponto e; a geração dos polígonos da malha por meio do algoritmo *Marching Cubes APSS (Algebraic Point Set Surfaces)* proposto por Guennebaud & Gross (2007). A Figura 24 mostra as capturas de tela do processo de reconstrução no MeshLab com os parâmetros aplicados em cada etapa, segundo recomendações de usuários no forum on-line do MeshLab (CIGNONI; RANZUGLIA, 2014) e nos tutoriais disponibilizados pelo ©YouTube, LLC pelo usuário Mister P. (2013). Pode ser utilizado um filtro de simplificação de superfícies após a reconstrução para diminuir a quantidade de polígonos do modelo. Este processo é especialmente importante para a aplicação de textura pois deixa a malha mais uniforme, isto permite a correta transferência de valores de cor desde a nuvem original.

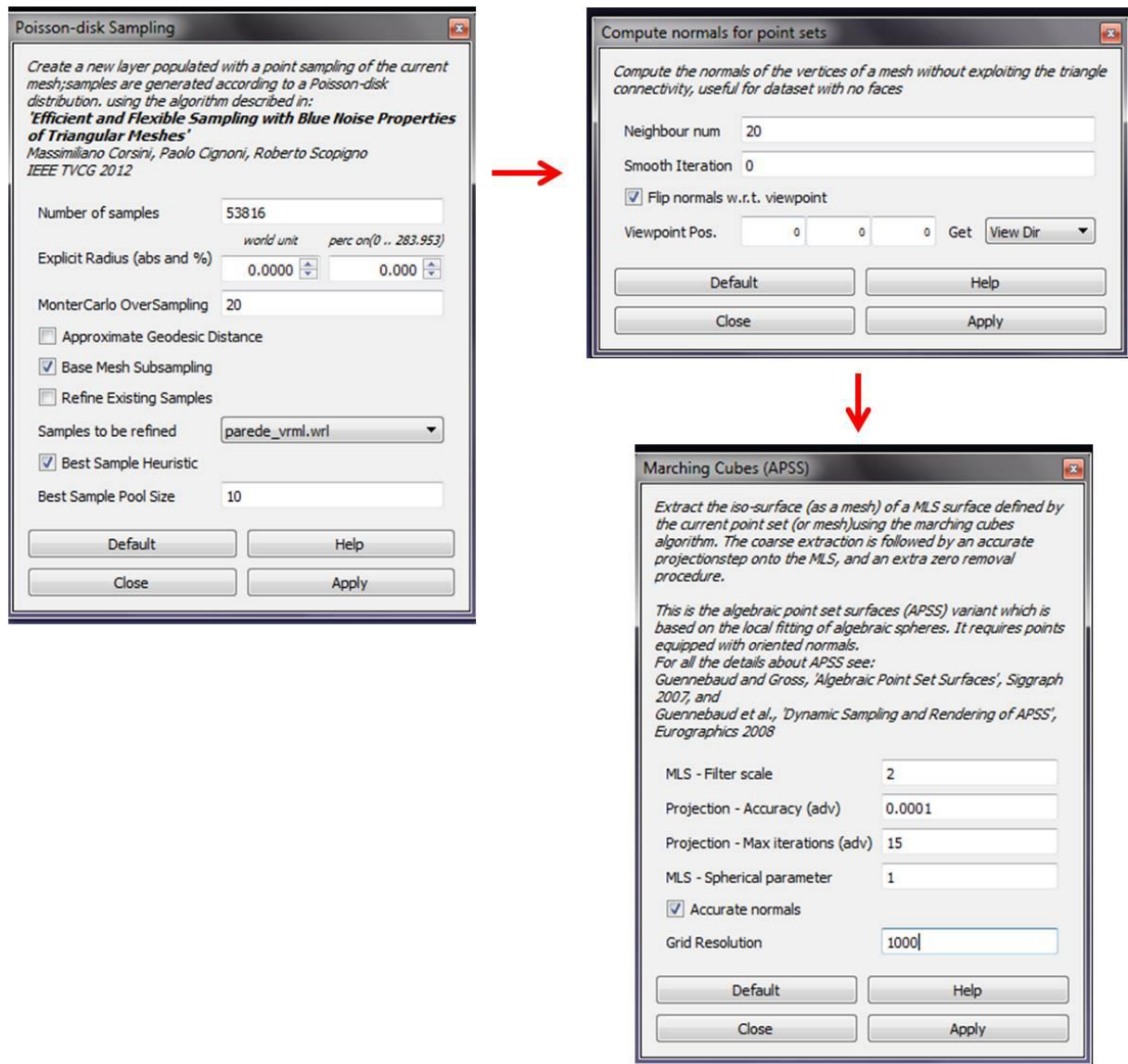


FIGURA 24: RECONSTRUÇÃO DE SUPERFÍCIES NO MESHLAB.
FONTE: Autor (2014)

Como poderá ser visto a seguir no processo de verificação do uso das variáveis visuais, as superfícies reconstruídas apresentam certas ondulações ou irregularidades que são decorrentes da aplicação do RANSAC na etapa de detecção de planos, o qual não foi acompanhado de um ajustamento de formas planares, deixando as normais de cada parte dos planos detectados com direções diferentes, fato que influencia depois ao aplicar os filtros de reconstrução de superfícies para criar o modelo 3D dos ambientes *indoor* amostrais. Um processo de ajustamento ajudaria na melhor reconstrução de superfícies, porém é um passo que foge do escopo desta pesquisa e foi desconsiderado.

4.2 APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA AS VARIÁVEIS VISUAIS

Com as superfícies reconstruídas, o modelo tridimensional do ambiente *indoor* ganha forma. No entanto, o ambiente carece de aspecto visual e só será identificável depois da aplicação dos parâmetros que definem as variáveis visuais que fazem parte da simbologia tridimensional apresentada neste trabalho.

4.2.1 Ambiente *indoor* 1: Corredor

A Figura 25 mostra a imagem em tons de cinza correspondente aos valores de profundidade do corredor considerado como ambiente *indoor* amostral nesta pesquisa. A cena é a mesma que o sensor Kinect visualiza durante o processo de captura da nuvem de pontos. A informação de profundidade é associada às coordenadas de cada ponto 3D.



FIGURA 25: IMAGEM DE PROFUNDIDADE DO CORREDOR CAPTURADA PELO KINECT.
FONTE: Santos *et al.* (2013)

A Figura 26 mostra o processo de detecção de três planos no ambiente amostral. (a) A nuvem completa colorida contendo os três planos antes da detecção; (b) plano correspondente à parede da esquerda; (c) plano correspondente ao teto e; (d) plano correspondente à parede da direita. Depois do processo de reconstrução de superfícies, detalhado na Figura 24, os pontos das nuvens originais passam a ser vértices que, junto com as faces, formam as malhas de polígonos que definem as três superfícies deste ambiente. Na Figura 27 mostra-se o ambiente amostral 1 com as superfícies reconstruídas.

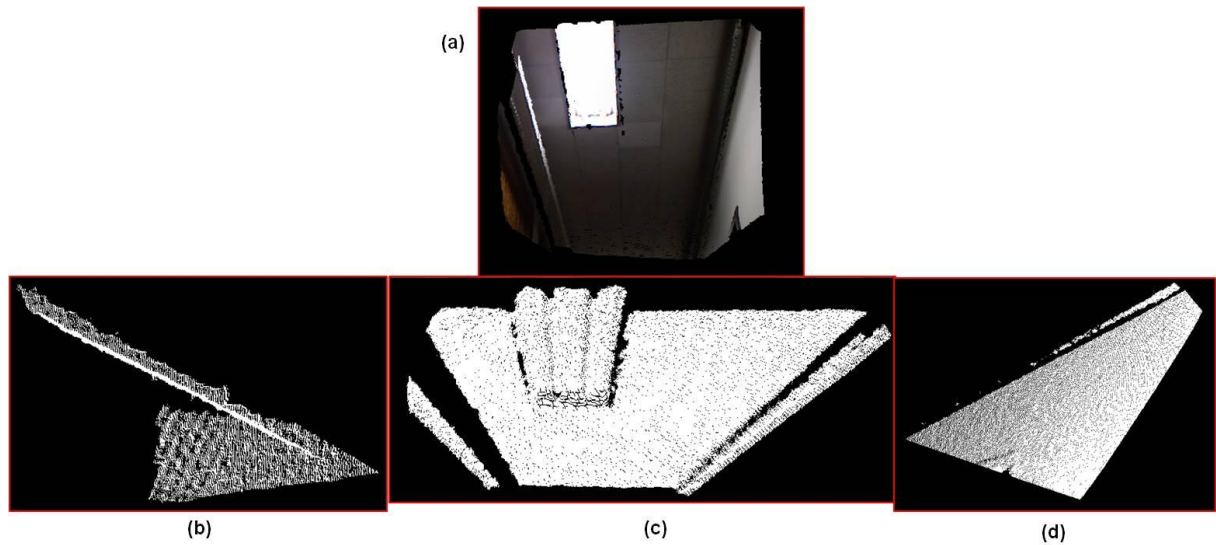


FIGURA 26: PLANOS DETECTADOS NA NUVEM DE PONTOS DO CORREDOR. (a) A nuvem completa colorida contendo os três planos antes da detecção; (b) Plano correspondente à parede da esquerda; (c) Plano correspondente ao teto e; (d) Plano correspondente à parede da direita.

FONTE: Autor (2014)

A reconstrução de superfícies demanda um alto processamento computacional. Uma reamostragem das nuvens de pontos antes da reconstrução poderia diminuir o tempo de processamento, porém a escolha do algoritmo não deve prejudicar a representação. Neste trabalho se decidiu não utilizar filtros para evitar a perda de informação da nuvem de pontos.

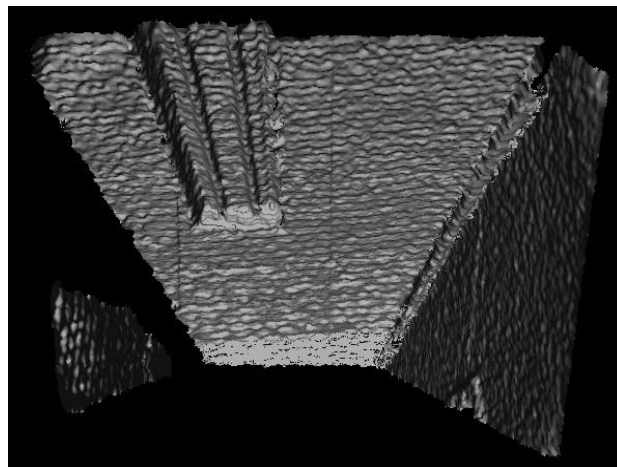


FIGURA 27: CORREDOR COM SUPERFÍCIES RECONSTRUÍDAS.

FONTE: Autor (2014)

4.2.1.1 Variáveis Visuais

a) Tom de cor

A Figura 28 mostra os três planos detectados pertencentes às classes parede e teto, que foram coloridos para ser identificados na representação. A escolha de cores foi feita com ajuda do ColorBrewer 2.0 (Brewer *et al.*, 2009). A aplicação da variável tom de cor, neste caso, é considerada importante para a identificação imediata dos elementos presentes na cena, sem intervenção de outras variáveis. A representação ficaria bastante simples, contudo conseguiria comunicar de maneira eficaz, a partir de uma legenda 3D ou com rótulos indicando os planos representados. As cores são: parede = R: 253, G: 174, B: 97; e teto = R: 166, G: 217, B: 106.

O tom de cor ou matiz também pode ser definido junto com a textura. Para se ter uma representação fiel à realidade, as cores dos elementos planares devem ser bem próximas daquelas captadas pelo sensor. Se uma textura fotorealística é usada, então a definição das cores dos elementos é produto de um processo de transferência de valores executada por algoritmos computacionais, sendo as cores dos pixels de uma imagem transferidos à malha processada de pontos. Se uma textura simplificada construída a partir de um padrão estruturado é utilizada, então as cores são definidas na figura base que gera o padrão.

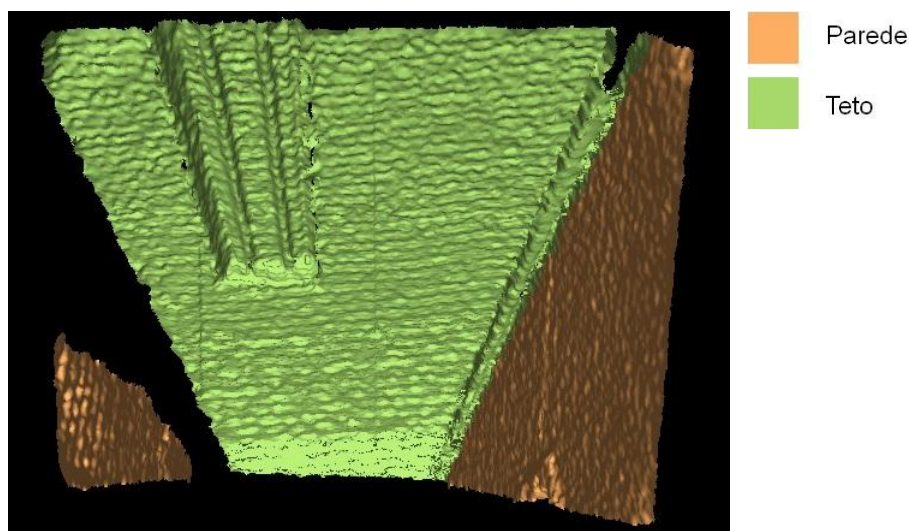


FIGURA 28: CORREDOR COM SUPERFÍCIES REPRESENTADAS PELA VARIÁVEL TOM DE COR.
FONTE: Autor (2014)

b) Textura

A variável visual textura, como citado anteriormente, pode ser derivada da geração de uma textura fotorealística. Uma das vantagens de se utilizar o sensor Kinect em aplicações de simbologia 3D é a disponibilidade de valores de RGB para cada elemento da nuvem de pontos, assim é possível recuperar valores para simbolizar as superfícies com as cores correspondentes ao ambiente real. Na Figura 29 são apresentadas duas superfícies reconstruídas por métodos diferentes do mesmo plano correspondente ao teto. A superfície da Figura 29a foi reconstruída a partir da nuvem de pontos do Kinect no software MeshLab por meio do algoritmo APSS (*Algebraic Point Set Surfaces*) proposto por Guennebaud & Gross (2007) e disponibilizado nos filtros de reconstrução do software. A textura é aplicada através do filtro de transferência de atributos desde a imagem colorida. Nota-se que o processo aplica a textura depois de ajustar a imagem ao plano, mas a imagem apresenta deformações nos objetos afastados do centro do sistema referencial, algo normal em imagem de fotografia não ortorretificada, o qual somado às distorções sofridas no processo de reconstrução da superfície, produzem um resultado aproximado mas não completamente real. A superfície da Figura 29b foi reconstruída a partir da nuvem de pontos do Kinect com o software ArcScene através da geração de um TIN (*Triangular Irregular Network*) e transformado depois em polígono, obtendo-se basicamente uma superfície simplificada, sem ondulações e regular, que facilita a aplicação de uma textura criada a partir de fotografias. A textura utilizada para representar esta feição corresponde a uma imagem de fotografia do teto padrão que pode ser encontrado no prédio de blocos de aulas do Centro Politécnico. O software permite aplicar uma textura a partir de uma imagem qualquer num polígono tridimensional. Nota-se que o resultado é uma representação mais simplificada do que a anterior, em outras palavras, com grande nível de abstração. Neste caso, não é possível representar as lâmpadas do teto, apresentando o plano todo a mesma aparência, o que significa um limite para a representação pois ela não se aproxima da realidade. No entanto, seria interessante a realização de estudos com esta técnica para verificar o seu potencial em processos de generalização cartográfica tridimensional.

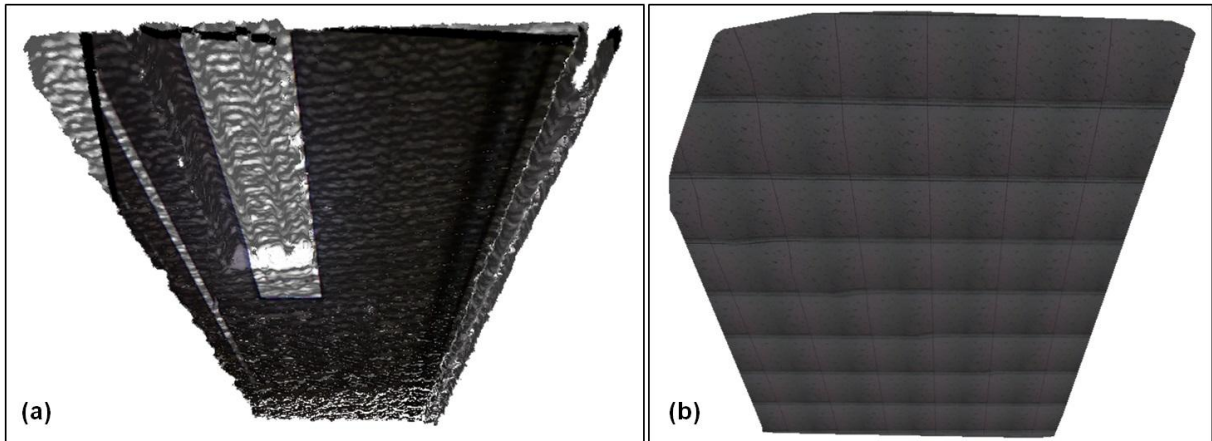


FIGURA 29: APLICAÇÃO DE TEXTURAS FOTO-REALÍSTICAS: (a) Superfície reconstruída no Meshlab; (b) Superfície reconstruída no ArcScene.

FONTE: Autor (2014)

É possível também criar uma textura abstrata como um padrão estruturado a partir de bibliotecas disponibilizadas em softwares do tipo SIG, ou encontradas como parte da definição do padrão CityGML 2.0. No caso da aplicação de um padrão estruturado, neste trabalho é considerada a recomendação dos princípios para projetos cartográficos 3D de Häberling (2004) que diz que o padrão deve ter um espaçamento mediano para que ser reconhecível (não pequeno demais de forma a se agregar como uma única parte ou grande demais de forma a parecer feições separadas). Foram escolhidos dois tipos de padrões diferentes para o plano teto. A escolha de uma textura por padrão estruturado é uma opção interessante para feições planares com alto grau de generalização, uma vez que elas perdem os detalhes que propiciam uma texturização mais complexa. A Figura 30 apresenta duas texturas com padrões estruturados diferentes sobre o teto simplificado reconstruído no ArcScene. A textura da Figura 30a "Clading_Siding_White" é parte do padrão CityGML 2.0 disponibilizada no conjunto de texturas da testdata v1.0.0. A textura da Figura 30b "pat041" é parte da biblioteca de texturas da ESRI.

As representações obtidas são abstratas e o processo de geração da superfície foi derivado de uma generalização das feições o que resultou num polígono simples que manteve a forma do plano mas perdeu os detalhes, como lâmpadas e canaletas para conexões elétricas (Figura 29a). Visualmente, somente a informação dos planos não pode ser corretamente interpretada por um usuário, uma vez que faltam detalhes que levem a um processo cognitivo de identificação da representação. A utilização de texturas abstratas para ambientes *indoor* poderia ser mais eficaz na comunicação cartográfica se acompanhada por uma legenda.

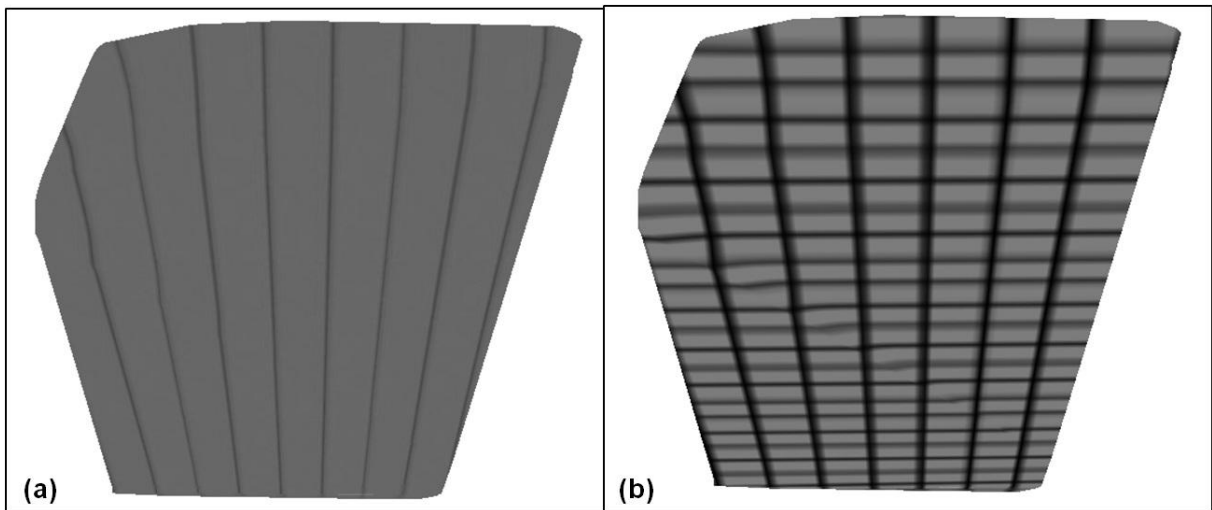


FIGURA 30: APLICAÇÃO DE TEXTURAS COMO PADRÃO ESTRUTURADO: (a) Cladding_Siding_White (CityGML); (b) pat041 (Biblioteca da ESRI).
 FONTE: Autor (2014)

A representação da Figura 30b tem uma aparência visual mais parecida com a realidade (textura padrão do teto do Centro Politécnico). Contudo, a ideia de aplicar texturas simplificadas consiste em facilitar a identificação e reconhecimento da cena representada, criando padrões que remetam à correta interpretação dos objetos que o usuário estiver visualizando.

4.2.1.2 Aspectos de Visualização

a) Iluminação

Schmidt (2012) aponta que a iluminação é um parâmetro de difícil modelagem e que depende da orientação da câmera. Para esta pesquisa a aplicação de iluminação difere daquela pensada para ambientes *outdoor*, que considera o Sol como fonte de luz, uma vez que neste caso a fonte de iluminação não é natural e não se desloca ao longo do tempo. Geralmente, num ambiente *indoor* a iluminação é produto tanto de luz artificial de lâmpadas, como de luz natural que entra pelas janelas. Esta luz natural também é difícil de ser modelada e representada se consideradas as suas variações ao longo do dia, mas para uma aplicação prática, nesta pesquisa foi representada de forma geral como uma luz ambiente que incide de igual maneira em todos os objetos presentes na cena.

Na Figura 31 são apresentados os resultados da aplicação do efeito de iluminação sobre a cena. Utilizou-se a cor azul para o fundo para contrastá-lo com os elementos simbolizados da cena e identificar as diferenças que eles apresentam durante a aplicação de diferentes parâmetros de iluminação. Nota-se que a iluminação proveniente de frente (Figura 31a, b) produz um efeito visual favorável na cena, sem opacar ou sobre-expor os objetos, especialmente o teto, pois ele não é afetado diretamente pela incidência da luz, contrariamente ao que acontece quando a iluminação é aplicada de baixo para cima e vice-versa.

Isto comprova o especificado pelo princípio 16 proposto por Häberling (2004) que recomenda uma iluminação lateral ou ligeiramente à frente. É necessário considerar que como a representação é de um ambiente *indoor*, uma iluminação proveniente dos lados seria obstruída por paredes e outros elementos que fazem parte deste tipo de ambiente fechado. Consequentemente, uma fonte de luz à frente que ilumine os objetos no campo de visão do observador é uma opção mais sensata. No entanto, a perspectiva e o ângulo com o qual a representação é visualizada influenciam no efeito de iluminação. Neste experimento, a perspectiva dada à representação é produto da simulação da posição original do sensor no momento da captura, por isso a inclinação dos planos na Figura 31.

No caso de aplicar a iluminação de baixo para cima (Figura 31c, d), as cores claras das lâmpadas no teto são saturadas e a representação aparece sobre-exposta. No caso de iluminação de cima para baixo (Figura 31e, f), o teto aparece sob o efeito de sombra, que impede a boa definição dos objetos e detalhes presentes na superfície. Este ambiente amostral tem o teto como elemento predominante e os ensaios de luminosidade foram realizados levando em conta esta premissa. No entanto, a iluminação afeta da mesma maneira todos os elementos presentes na representação, por isto se afirma que a iluminação é um efeito visual de difícil modelagem e será percebido de forma diferente tantas vezes quantas forem as posições de um espectador hipotético.

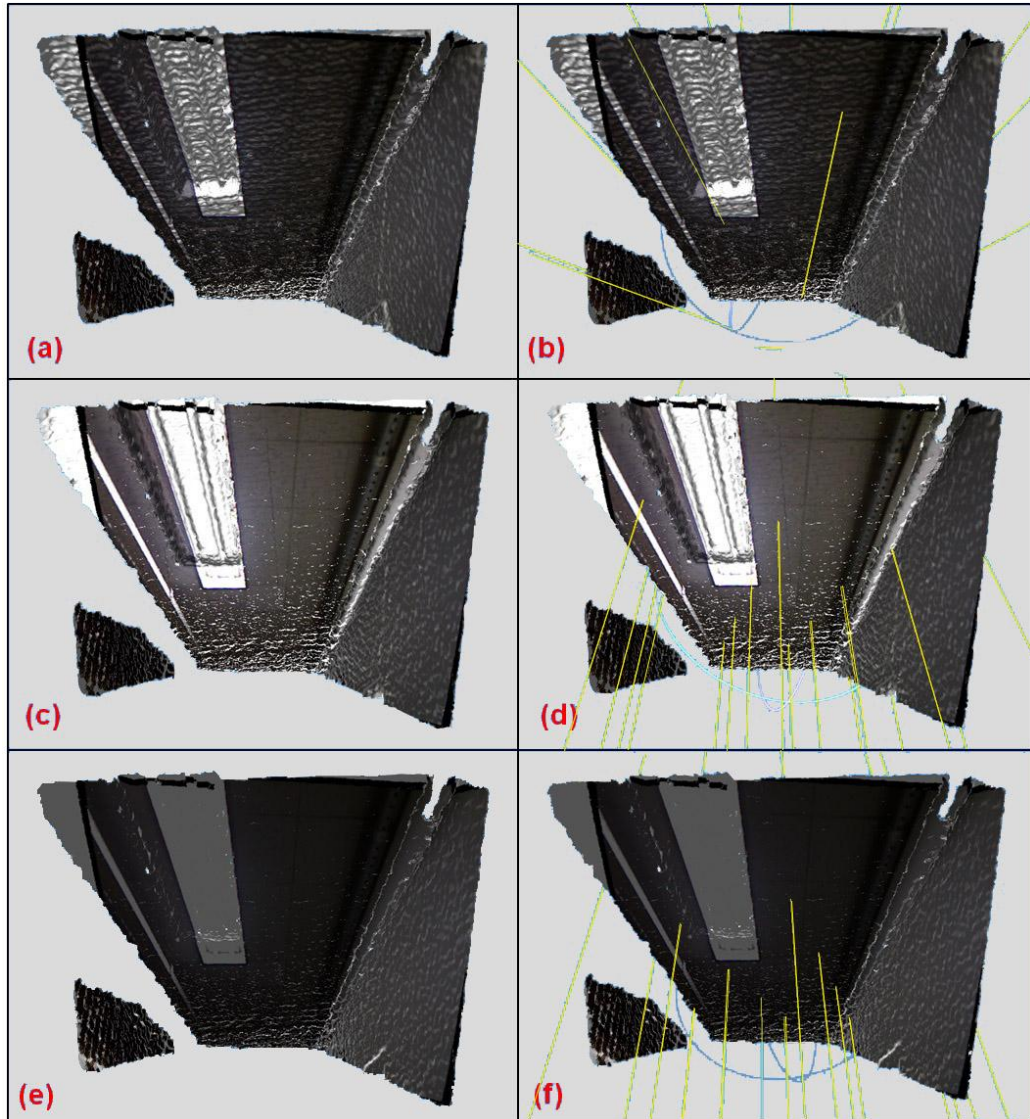


FIGURA 31: APLICAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NO AMBIENTE 1: (a) e (b) à frente; (c) e (d) de baixo para cima e; (e) e (f) de cima para baixo.
 FONTE: Autor (2014)

O tom de cor da luz também influencia nas superfícies representadas alterando o seu visual. Na Figura 32 pode-se conferir o efeito de três cores distintas com a direção da fonte de iluminação à frente. Uma cor preta produz um escurecimento geral da cena, o oposto acontece com a aplicação de uma cor branca para a luz. Um efeito visual neutro se consegue com a aplicação de luz de cor cinza 50%. A definição da cor do aspecto visual iluminação também depende dos matizes predominantes na representação.

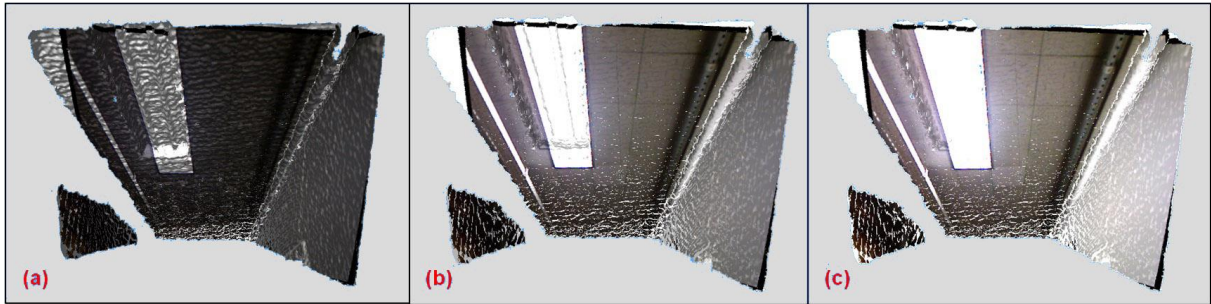


FIGURA 32: APLICAÇÃO DE MATIZ NA ILUMINAÇÃO NO AMBIENTE 1: (a) preto; (b) cinza 50% e; (c) branco.

FONTE: Autor (2014)

b) Sombreamento

O sombreamento é produto da iluminação incidente sobre os objetos presentes na cena. O efeito do sombreamento pode ser controlado por parâmetros como o valor de intensidade e modo de sombreamento (plano, suave, borrado). Nesta pesquisa as superfícies planas que conformam os modelos *indoor* amostrais são os objetos afetados pela aplicação dos aspectos de visualização, não existindo objetos menores que causem oclusões na cena, sendo imperceptível o efeito do sombreamento.

c) Configuração da câmera

A definição do FOV (*Field of View*), que corresponde ao ângulo de elevação da câmera, é importante para simular o efeito da visão humana presente num observador hipotético localizado no ambiente virtual representado. Um ângulo de 46° é recomendado por Häberling, Bär e Hurni (2008), sendo testados por Schmidt (2012) os ângulos de 42°, 46° e 50°. O autor concluiu que ocorrem pequenas diferenças na percepção da cena por parte dos usuários participantes nos testes propostos. Para comprovar isto, neste trabalho foram geradas três representações do ambiente amostral (Figura 33) com os mesmos valores de FOV sugeridos por Schmidt (2012). A mudança visual da representação é imperceptível, mas comprovou-se que à medida que aumenta o FOV, a sensação de imersão é cada vez maior no ambiente virtual, se mantida a mesma posição do observador, sendo os objetos enxergados com maior distorção aos extremos da cena, um efeito parecido ao que acontece ao perder a relação de aspecto quando se assiste um

filme não adaptado para formato "*wide-screen*". O efeito contrário acontece ao diminuir progressivamente o valor do FOV até chegar numa projeção ortográfica da cena, que carece de perspectiva e os objetos aparecem misturados num único plano, se perdendo a característica tridimensional da representação.

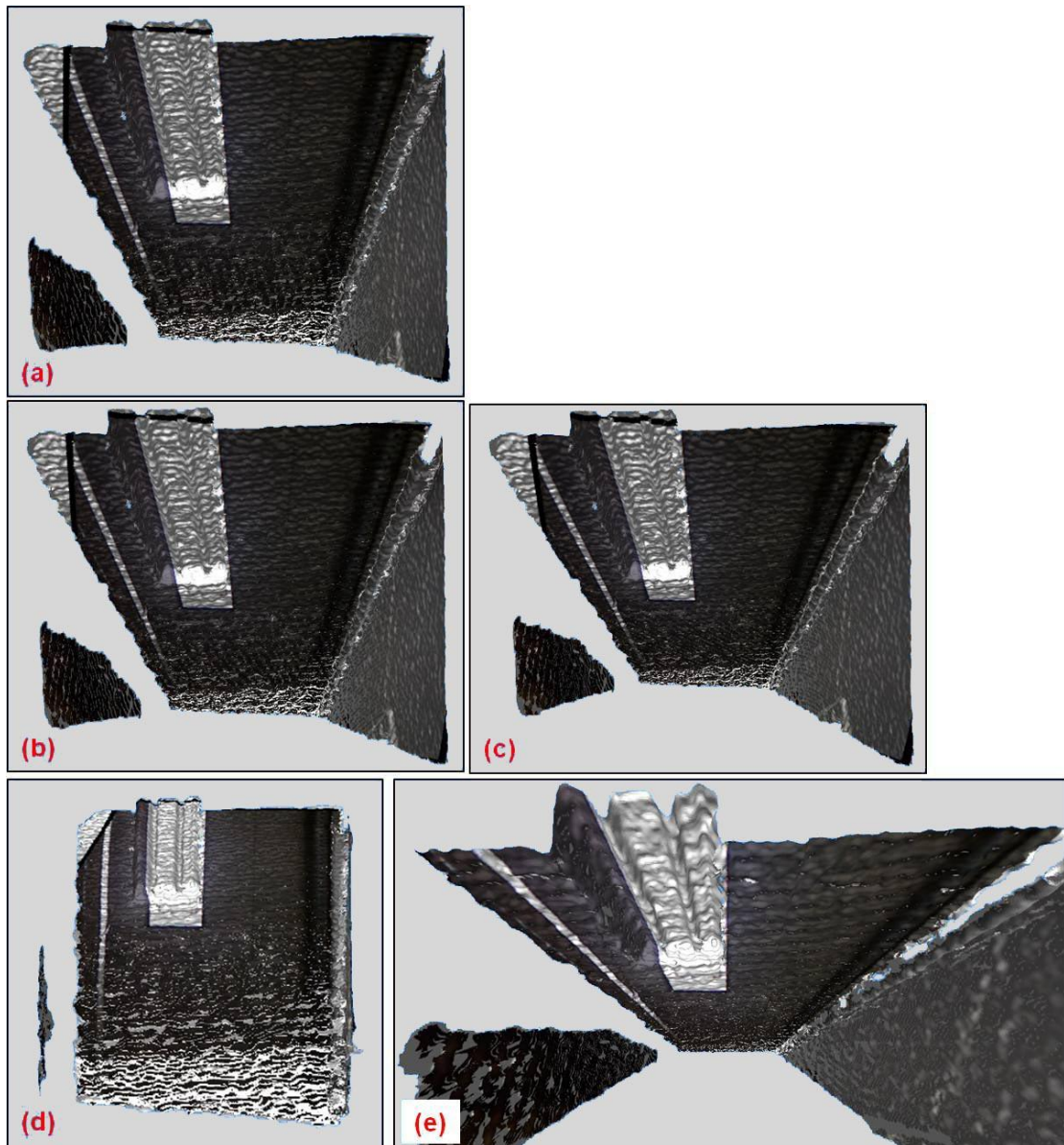


FIGURA 33: EFEITO DO FOV NO AMBIENTE 1: (a) 42°; (b) 46°; (c) 50°; (d) 0°; (e) 90°.
FONTE: Autor (2014)

Neste caso, o parâmetro de 46° proposto por Häberling, Bär e Hurni (2008) não é determinante para a representação de ambientes *indoor* pois ele foi sugerido para a representação de espaços geográficos externos, de forma a evitar o problema de oclusão na visualização de objetos distantes.

4.2.2 Ambiente *indoor* 2: Escritório

O segundo ambiente *indoor* escolhido para esta pesquisa corresponde a um escritório localizado no Departamento de Mapeamento Topográfico do ITC (*Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation*), na Holanda (Figura 34). Foram identificados três planos neste ambiente amostral: parede, mesas e chão. A parede (1) contém 53.689 pontos; as mesas (2) 42.080 pontos e; o chão (3) 40.554 pontos.



FIGURA 34: IMAGEM DE PROFUNDIDADE DO ESCRITÓRIO. Note-se a silhueta de uma cadeira no canto inferior direito da imagem.

FONTE: Santos *et al.* (2013)

4.2.2.1 Variáveis Visuais

a) Tom de cor

A Figura 35 mostra os três planos detectados e coloridos para identificar cada um deles na representação. A escolha de cores foi feita com ajuda do ColorBrewer 2.0 (Brewer *et al.*, 2009). Observando a Figura 35 pode-se conferir que não foi possível identificar a cadeira que aparece na Figura 34. A posição do sensor é determinante na detecção de elementos, neste caso específico, a captura só foi feita de forma estática, portanto, alguns objetos não tem todas as suas faces detectadas. As três superfícies reconstruídas foram representadas pelas seguintes combinações de cores: parede = R: 253, G: 174, B: 97; mesas = R: 215, G: 25, B: 28; chão = R: 26, G: 150, B: 65. As cores escolhidas correspondem às aplicadas

para o ambiente amostral 1, sendo gerada uma única combinação de quatro cores para ambos ambientes, uma cor para cada classe de plano. Neste ambiente, especificamente, foi acrescentada a cor para a classe chão e para as mesas e, desconsiderada a cor para o teto por ele não estar presente na cena.

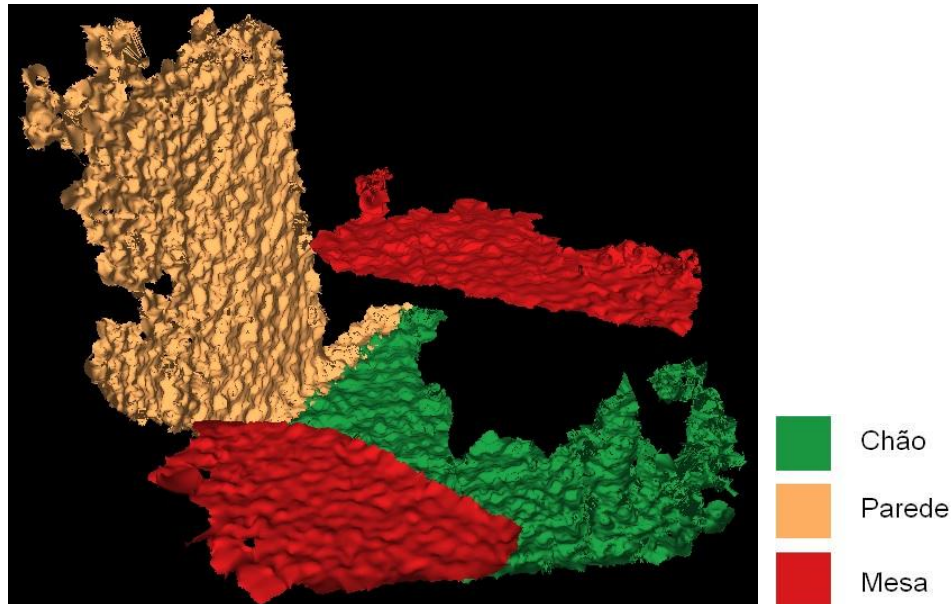


FIGURA 35: ESCRITÓRIO COM SUPERFÍCIES REPRESENTADAS PELA VARIÁVEL TOM DE COR.

FONTE: Autor (2014)

b) Textura

A variável visual textura aplicada aos planos deste ambiente amostral só foi verificada para o caso de uma textura fotorealística, uma vez que a aplicação de uma textura como padrão estruturado não foi possível pela incompatibilidade de formatos, o que levou a processar as superfícies somente no software MeshLab. Na figura 36 apresenta-se os resultados da aplicação da textura fotorealística. Nota-se que a transferência de valores a partir da imagem para a malha, nesta ocasião, foi melhor executada do que no caso do ambiente amostral 1. Vários objetos menores aparecem na textura aplicada na mesa do fundo, podendo-se identificar algumas folhas de papel e livros, o que comprova a hipótese de que o algoritmo aplicado não consegue separar objetos de tamanho menor nos planos detectados. Neste caso, a presença desses elementos oferece um complemento visual à cena, o que facilita a interpretação da representação.

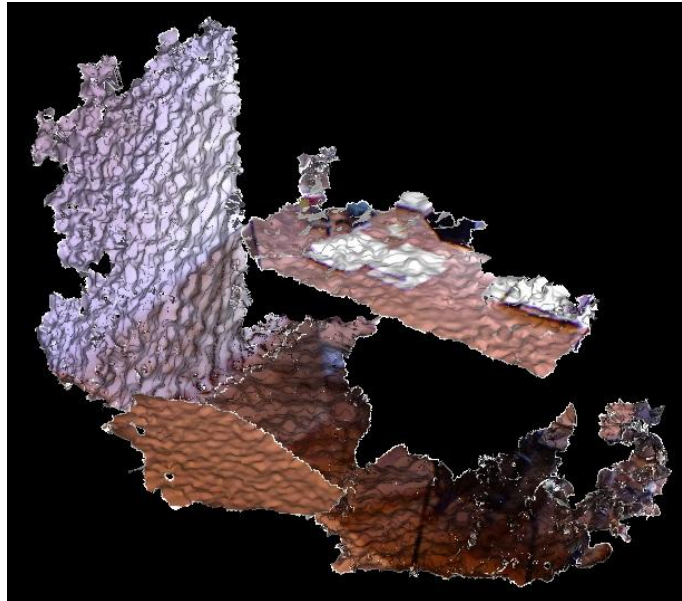


FIGURA 36: ESCRITÓRIO COM TEXTURA FOTOREALÍSTICA.

FONTE: Autor (2014)

A aplicação da textura fotorealística foi realizada separadamente para cada plano, ocorrendo em três etapas. O resultado para os planos parede e mesas é satisfatório, embora não ocorra o mesmo para o chão, onde o algoritmo não conseguiu adaptar corretamente a imagem à superfície reconstruída, aparecendo os detalhes de uma cadeira misturados com o chão.

4.2.2.2 Aspectos de Visualização

a) Iluminação

O efeito visual da iluminação é aplicado sobre as superfícies texturizadas no processo de verificação da etapa anterior. De forma semelhante ao realizado para o ambiente amostral 1, procedeu-se a aplicação de três parâmetros definindo a direção da fonte de iluminação: à frente, de baixo para cima e, de cima para baixo. As imagens à direita na Figura 37 mostram a direção da luz com linhas simulando os feixes em cor amarela. A iluminação frontal (Figura 37a) produz um efeito equilibrado em todos os objetos da cena, sem sobre-expor nenhum elemento. Neste ambiente amostral não existe a presença de teto, assim a iluminação de cima para baixo (Figura 37c) também produz bons resultados ao iluminar de forma uniforme a cena.

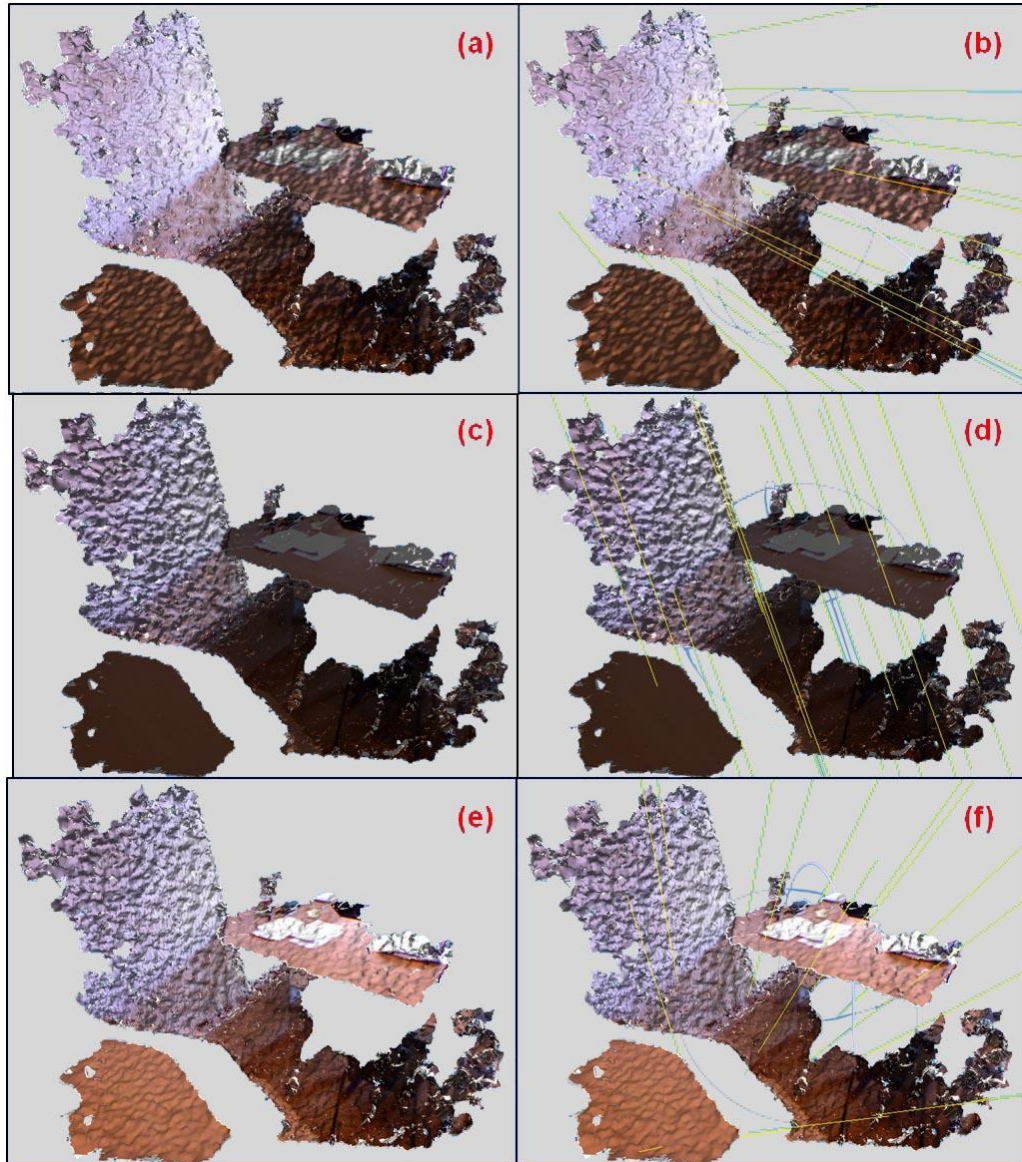


FIGURA 37: APLICAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NO AMBIENTE 2: (a) e (b) à frente; (c) e (d) de baixo para cima e; (e) e (f) de cima para baixo.

FONTE: Autor (2014)

O matiz da luz também pode ser definido resultando em visuais diferentes, que dependendo da cor escolhida, pode atrapalhar ao invés de ajudar a visualização da representação. Se o matiz da luz junto com as cores dos objetos da cena entram em conflito, alguns objetos poderiam ser prejudicados ao se tornar imperceptíveis, complicando a correta interpretação da representação. Na Figura 38 é aplicada uma iluminação à frente e verificados três tons de cor: (a) preto; (b) cinza 50% e; (c) branco. Um matiz cinza 50% produz um visual equilibrado, importante devido à presença de objetos que variam desde o marrom escuro (mesas) até o branco (parede).

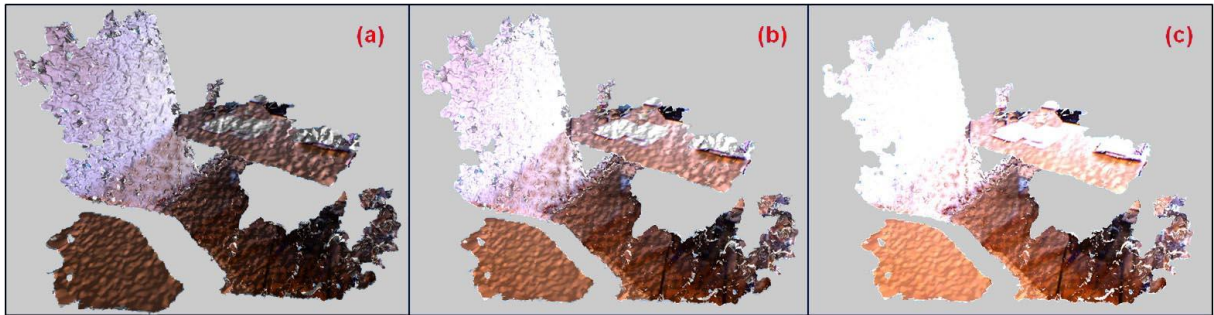


FIGURA 38: APLICAÇÃO DE MATIZ NA ILUMINAÇÃO NO AMBIENTE 2: (a) preto; (b) cinza 50% e; (c) branco.

FONTE: Autor (2014)

b) Configuração da câmera

Os parâmetros para o FOV verificados para o ambiente amostral 2 são os mesmos de 42°, 46° e 50°. Não se detectam diferenças importantes na aplicação destes parâmetros no aspecto visual da representação (FIGURA 39).

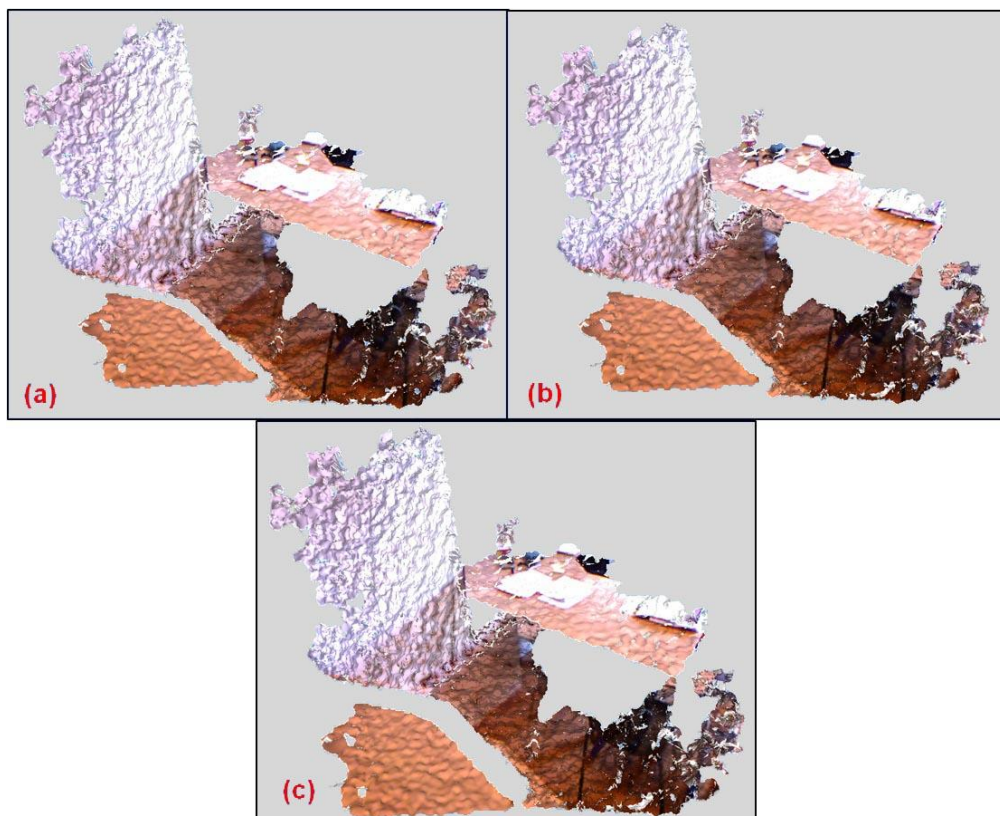


FIGURA 39: EFEITO DO FOV NO AMBIENTE 2: (a) 42°; (b) 46°; (c) 50°.

FONTE: Autor (2014)

4.2.3 Ambiente *indoor* 3: Laboratório

O terceiro experimento corresponde a um laboratório também localizado no ITC, na Holanda (ver Figura 23). Neste ambiente amostral foram extraídos sete planos com as seguintes características: paredes (4), mesas, chão e teto. O teto (a) contém 321.793 pontos; o chão (b) 59.607 pontos; a parede ao fundo (c) 44.262 pontos; parte da parede à direita (d) 179.174 pontos; outra parte da parede à direita (e) 73.773 pontos; parede à esquerda (f) 506.477 pontos e; o plano das mesas (g) 93.326 pontos.

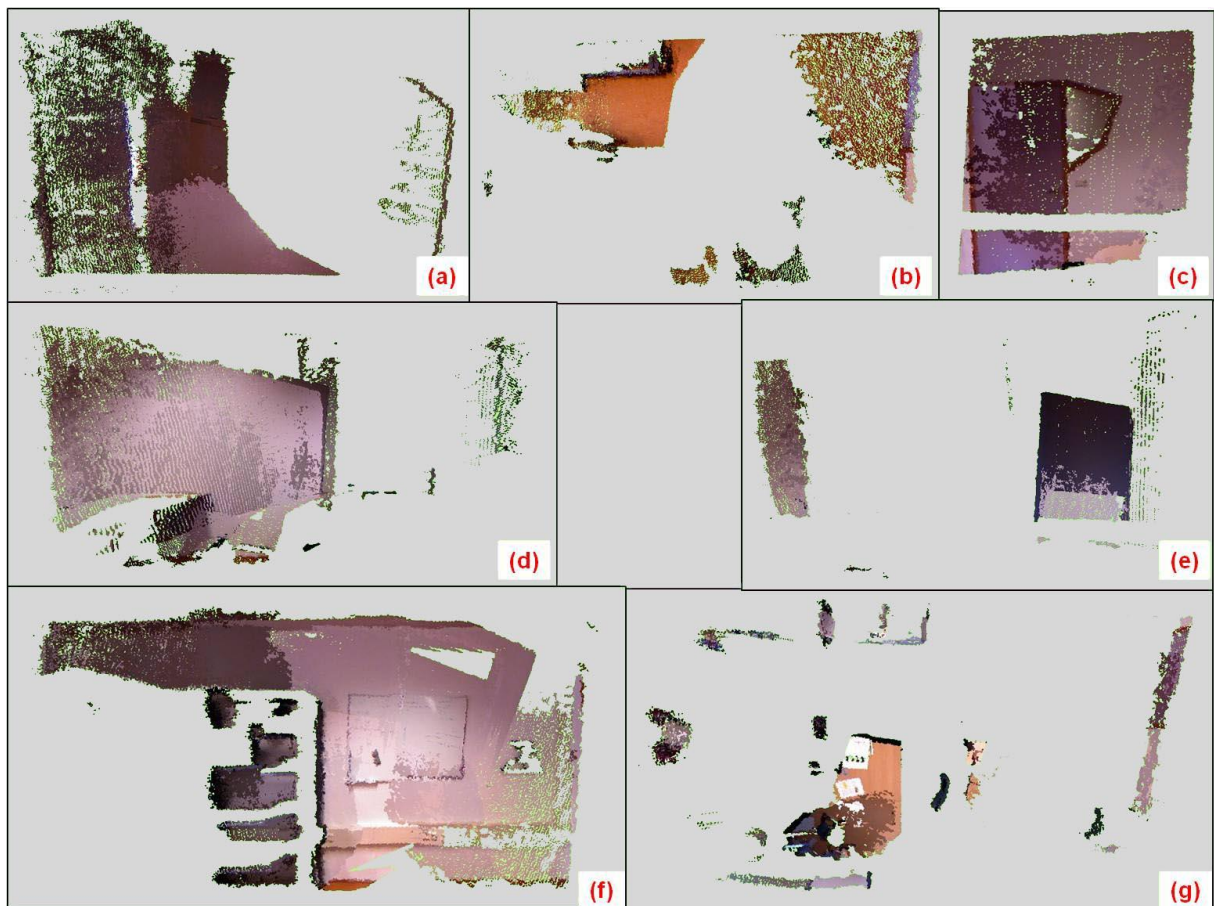


FIGURA 40: PLANOS DETECTADOS DO AMBIENTE 3: (a) teto; (b) chão; (c) parede ao fundo; (d) parte da parede à direita; (e) outra parte da parede à direita; (f) parede à esquerda e; (g) plano das mesas.

FONTE: Autor (2014)

Ao todo a nuvem do ambiente amostral 3 contém uma grande quantidade de pontos, muitos deles não chegam a fazer parte de objetos e são considerados *outliers* que devem ser retirados para não interferir no processamento. A eliminação de pontos foi feita de forma manual ao selecionar cuidadosamente os vértices das

malhas de pontos indesejados. No final deste processo, as nuvens de pontos dos planos detectados foram substancialmente reduzidas em tamanho e sua forma ficou melhor definida, como pode ser visto na Figura 41.

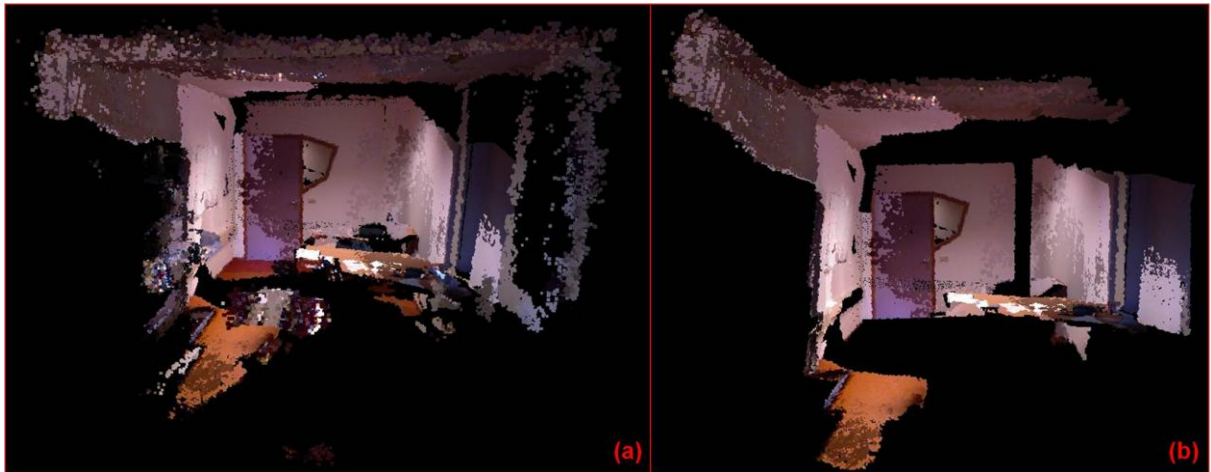


FIGURA 41: NUVEM DE PONTOS DO AMBIENTE 3: (a) Original; e (b) Editada.
FONTE: Autor (2014)

4.2.3.1 Variáveis Visuais

a) Tom de cor

A aplicação da variável tom de cor, como visto anteriormente, depende da variável textura. Neste ambiente amostral foi verificada a aplicação de uma textura abstrata baseada na escolha de cores diferentes para cada classe de plano, sendo 4 classes, um processo semelhante ao realizado nas verificações dos ambientes amostrais 1 e 2 (Figura 42).

As cores selecionadas para gerar esta representação do ambiente amostral 3 são: teto = R: 215, G: 25, B: 28; mesa = R: 253, G: 174, B: 97; parede = R: 171, G: 221, B: 164; chão = R: 43, G: 131, B: 186.

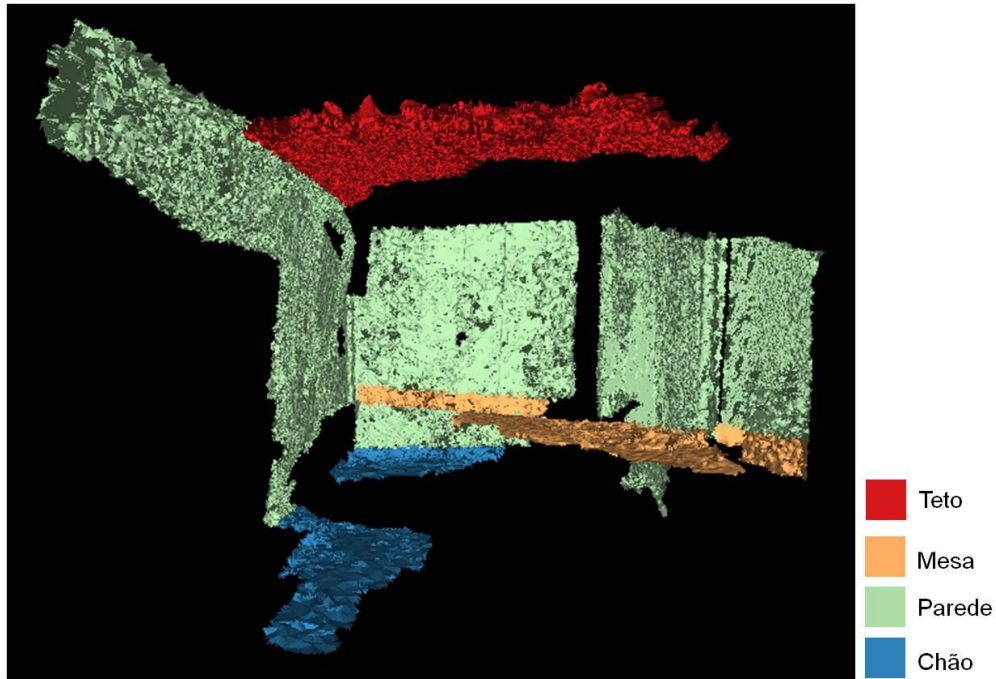


FIGURA 42: APLICAÇÃO DE TEXTURA ABSTRATA PARA CADA CLASSE DE PLANO (4 CORES)
 FONTE: Autor (2014)

b) Textura

A aplicação de textura fotorealística para este ambiente amostral foi facilitada pela disponibilidade dos dados em formato PLY. A maior dificuldade apresentou-se na reconstrução das superfícies antes da aplicação e verificação desta variável visual. É justificada a edição da nuvem de pontos original para produzir uma malha com planos mais “limpos”, que recebam a transferência dos valores de cor. O filtro aplicado no MeshLab transfere os atributos de uma nuvem considerada como fonte para outra nuvem denominada de objeto. O filtro encontra-se no menu "*Sampling*" com o nome "*Vertex Attribute Transfer*". Os valores de cor são atribuídos a cada ponto tridimensional na etapa de processamento da nuvem de pontos antes da detecção dos planos. Esta informação de cores é armazenada junto com as coordenadas dos pontos e conservadas no formato PLY. Na Figura 43 é apresentado o ambiente amostral com superfícies reconstruídas tanto sem textura como texturizado.

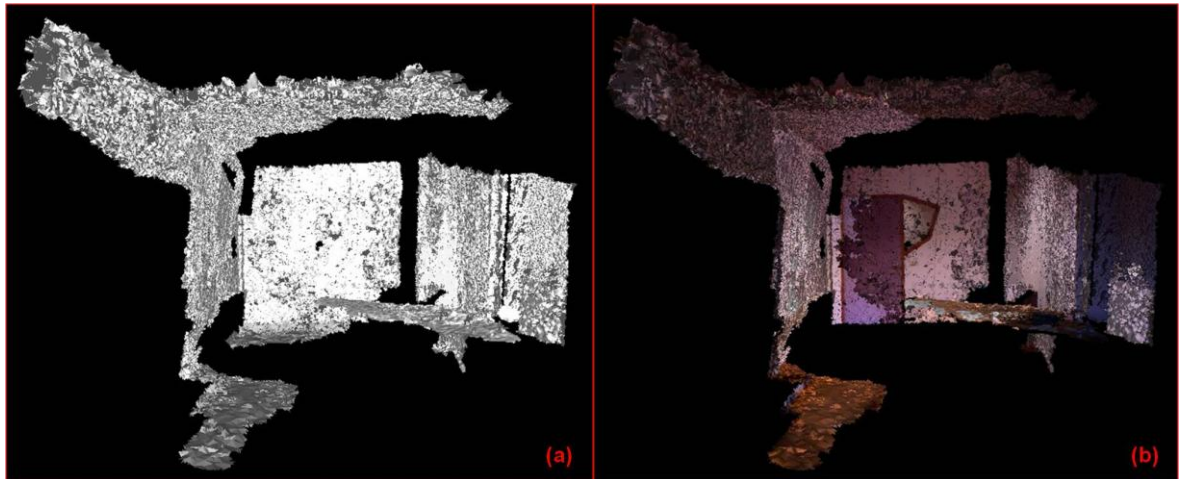


FIGURA 43: AMBIENTE 3 COM SUPERFÍCIES RECONSTRUÍDAS: (a) SEM TEXTURA; (b) COM TEXTURA FOTOREALÍSTICA.

FONTE: Autor (2014)

Visualmente, a representação com textura fotorealística oferece uma vista familiar e reconhecível pelo usuário do ambiente, ao prover os pontos com as mesmas cores capturadas originalmente pelo sensor. O problema da aplicação deste tipo de textura é a dificuldade para reconstruir superfícies regulares, como insumo básico do processo, que aceitem a transferência de atributos a partir da nuvem colorida original. A grande quantidade de *outliers* e a irregularidade das nuvens de pontos, em parte consequência dos algoritmos de processamento aplicados durante a detecção dos planos, dificultaram o processo de reconstrução de superfícies, acarretando em complicação do processo de verificação da variável textura.

4.2.3.2 Aspectos de Visualização

a) Iluminação

O aspecto visual de iluminação foi verificado seguindo o mesmo método dos ambientes amostrais anteriores. Devido à textura fotorealística ter sido escolhida como sendo aquela que deu melhores resultados, o efeito da iluminação foi verificado sobre este tipo de textura aplicada ao modelo 3D. Neste ambiente, a verificação foi mais complexa devido à presença de um maior número de planos, o que tornou mais complicada a escolha de uma iluminação adequada para toda a cena. Na Figura 44 mostram-se os efeitos de aplicar a iluminação com parâmetros

de direção de luz diferentes. Cabe mencionar que foi escolhida a cor de luz cinza 50% para esta verificação devido aos resultados obtidos nos experimentos anteriores, nos quais esta cor produziu uma iluminação geral e menor distorção na cena. A escolha da cor da luz também depende do efeito de iluminação esperado durante um período específico do dia, como por exemplo, cores escuras e em tons azulados para a noite; tons de amarelo para o dia e; tons próximos do branco puro para o meio-dia (MACH; PETSCHKE, 2007). Em geral, todas as direções de luz que atingem os planos ligeiramente à frente produzem resultados satisfatórios ao iluminar suavemente a cena (Figura 44a, e, f, g). O caso contrário ocorre quando aplicada uma direção de luz proveniente da parte de atrás dos planos, pois ela não atinge os objetos representados e a cena fica escurecida, fato que não favorece a visualização (Figura 44b, c). O melhor efeito visual foi percebido mediante a aplicação do parâmetro de direção dos feixes de luz inclinados, atingindo o maior número de planos, os quais se encontravam do lado esquerdo da cena (Figura 44d).

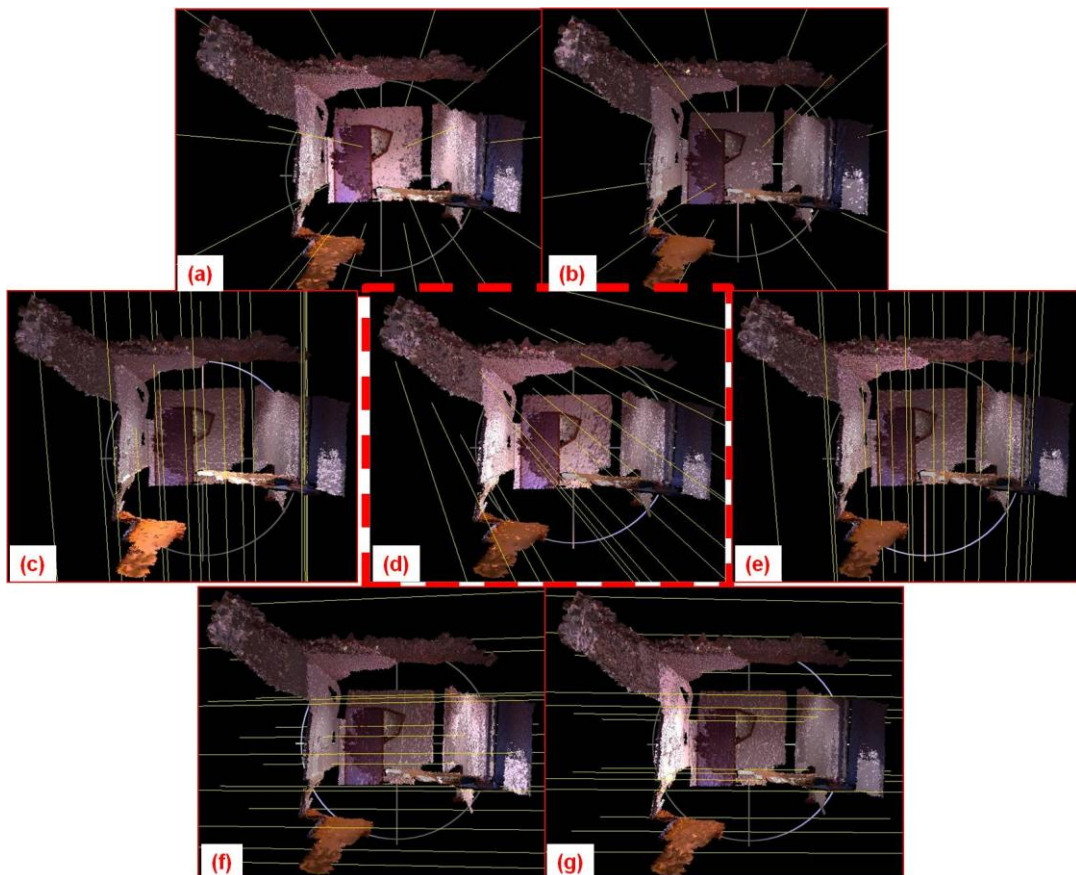


FIGURA 44: ILUMINAÇÃO APLICADA NO AMBIENTE 3: (a) à frente; (b) de atrás; (c) de cima para baixo; (d) inclinada em direção aos planos; (e) de baixo para cima; (f) da esquerda para a direita; (g) da direita para a esquerda.

FONTE: Autor (2014)

b) Configuração da câmera

A configuração da câmera, especificamente a definição do ângulo do FOV como parâmetro que influencia a representação, foi verificada de maneira semelhante à dos ambientes anteriores (Figura 45). Novamente, não é perceptível a influência da variação do ângulo de 42° até 50°. Ressalta-se que, efetuar o exagero da configuração do ângulo, por exemplo, decrescer até uma vista ortográfica da cena, ou aumentar até ter uma vista quase panorâmica distorcida, são casos extremos que não favoreceriam a visualização de representações *indoor*.

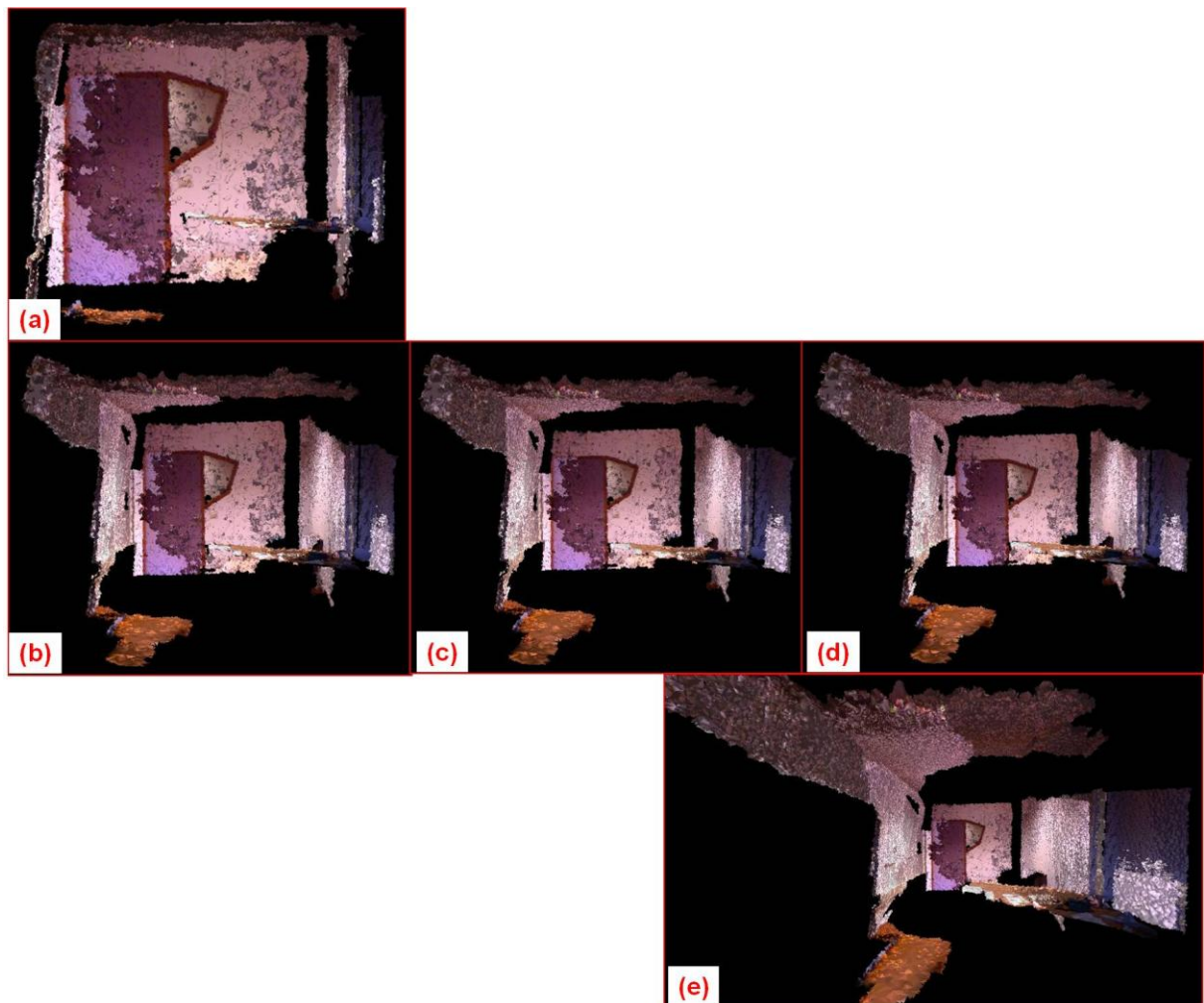


FIGURA 45: FOV APLICADO NO AMBIENTE 3: (a) 0°; (b) 42°; (c) 46°; (d) 50°; (e) 90°.

FONTE: Autor (2014)

4.2.4 Resumo da Verificação do Uso das Variáveis Visuais

A tabela a seguir mostra a contribuição no processo de verificação do uso das variáveis visuais de cada ambiente amostral. Cada estrela representa o aporte dessa verificação para a pesquisa, com base nos experimentos realizados, como uma forma de qualificar os resultados. Um aporte regular significa que não foi determinante para as conclusões sobre simbologia neste trabalho; um aporte bom contribuiu moderadamente para a definição de simbologia; um aporte satisfatório foi o mais relevante para a proposta de simbologia 3D.

	Ambiente 1 Corredor	Ambiente 2 Escritório	Ambiente 3 Laboratório
Tom de cor	★	★★	★★★
Textura	★★	★★★	★★★
Iluminação	★★	★★	★★★
Sombreamento	---	---	---
Configuração da câmera	★★	★★	★★

★=regular; ★★=bom; ★★★=satisfatório; --- não verificado

TABELA 02: Resumo do processo de verificação: Ambientes amostrais.

FONTE: Autor (2014)

A Tabela 03 mostra os parâmetros que obtiveram melhores resultados no processo de verificação, os mesmos que são considerados aptos para a representação de ambientes *indoor* gerados mediante a aplicação do método proposto neste trabalho.

Variável Visual	Descrição
Tom de cor	Representação altamente abstrata = Aplicação da variável com seleção adequada do matiz, sem dependência da definição da textura. Representação fotorealística = Aplicação e definição junto com a textura.
Textura	Fotorealística = Reconstrução de superfícies e transferência de atributos de cores a partir da nuvem original para o modelo 3D.
Iluminação	Feixes direcionadas à frente da cena e que atinjam a maior parte dos planos representados. A cor dos feixes é cinza 50%, considerando uma iluminação ambiente padrão.
Sombreamento	Não pôde ser verificado.
Configuração da câmera	FOV entre 42° a 50° não apresenta variação significativa. Valores extremos próximos a 0° e 90° distorcem a visualização da cena.

TABELA 03: Resumo do processo de verificação: Variáveis visuais e efeitos visuais.

FONTE: Autor (2014)

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foi apresentada uma proposta de simbologia 3D baseada na verificação do uso das variáveis visuais e dos efeitos de visualização que influenciam a criação de símbolos para a representação de ambientes *indoor*. Foram conduzidos três experimentos em diferentes ambientes para verificação do método proposto. Neste trabalho o processo de verificação foi realizado considerando representações estáticas de cada uma das cenas. Não foram realizadas análises considerando mudanças na posição do observador ou deslocamentos dentro dos ambientes amostrais por não ser foco desta pesquisa a simulação de tarefas de navegação ou posicionamento *indoor* e sim o estudo de uma simbologia 3D para representação de ambientes *indoor*.

Os dados tridimensionais produto de levantamentos realizados com o sensor Kinect têm um potencial promissor na área da Cartografia. O processamento das nuvens de pontos tridimensionais com algoritmos de detecção de planos advindos da visão computacional e implementados nas bibliotecas PCL e OpenCV, tanto como a reconstrução de superfícies utilizando filtros disponibilizados no MeshLab, forneceram insumos importantes para o desenvolvimento desta pesquisa. Os planos detectados, os mesmos que foram utilizados na construção dos três modelos dos ambientes amostrais, apresentaram características que permitiram a implementação do método proposto, como por exemplo, suficiente número de pontos para poder ser detectados pelo algoritmo RANSAC, superfícies relativamente homogêneas e extensas, são alguns atributos que contribuíram à etapa de verificação da aplicação dos parâmetros que definiram as variáveis visuais e os efeitos de visualização que foram considerados para a proposta de simbologia 3D. O ambiente amostral 3 mostrou-se propício para a verificação pois continha maior número de planos ao ser comparado com os outros dois ambientes, isto contribuiu para a configuração de uma cena mais completa, que favoreceu a análise proposta.

A variável tom de cor aplicada de forma isolada nas superfícies reconstruídas, e sem intervenção de outras variáveis, produz uma simbologia abstrata que retrata levemente o ambiente real representado. A simbolização de ambientes somente com variações no tom de cor aplicadas aos planos deve ser acompanhada de uma legenda que ajude na interpretação da cena, caso contrário, o

usuário teria dificuldade em identificar as classes de planos representados. A variável tom de cor produz efeitos visuais adequados à representação de ambientes *indoor* quando aplicada junto com a variável textura.

A aplicação da variável visual textura foi verificada como sendo fotorealística gerada a partir de imagens do ambiente real, o que torna o tom de cor numa variável dependente da textura, ou como padrão estruturado o qual permite uma manipulação das cores de forma independente ao padrão escolhido, sendo neste caso necessário um processo de seleção otimizado do matiz. Por outro lado, o tipo de textura fotorealística ofereceu melhores resultados pois permitiu a geração de representações mais semelhantes à realidade, sem deixar de ser simplificadas. A aplicação de texturas fotorealísticas foi possível pelo uso do MeshLab, que pode ser considerado um valioso aliado durante o processamento de superfícies tridimensionais de tipo malha. No ambiente amostral 3 foi comprovada a vantagem de se utilizar a informação de cor associada a cada ponto da nuvem e originada no levantamento do ambiente com o sensor Kinect. As cores de cada ponto facilitam o processo de texturização das superfícies pois se vale de filtros de transferência de atributos, neste caso o valor da cor, desde a nuvem original para o modelo.

Os parâmetros que foram utilizados para verificar o efeito da iluminação permitiram comprovar a incidência dos feixes de luz sobre as superfícies que compunham os modelos 3D. O software MeshLab disponibiliza um filtro de iluminação simples, porém prático e que permite realizar verificações do uso deste aspecto e sua influência na representação de ambientes *indoor*. O melhor resultado obteve-se quando aplicada a iluminação de frente, ligeiramente lateral, sendo praticamente descartada a aplicação sugerida por Häberling (2004) porque as características de um ambiente fechado a dificultam. A cor da luz é um parâmetro que também influencia na representação, sendo testados três valores, a luz de cor cinza a 50% forneceu os melhores resultados quando aplicada junto com a direção de luz antes mencionada. Se o ambiente for iluminado com luz branca, corre-se o risco de sobre-expor alguns objetos presentes na cena, como as lâmpadas, que são comuns em ambientes *indoor*. Uma luz escura produz perda na definição das bordas dos objetos e dificulta a sua identificação. Cabe ressaltar que o tipo de iluminação aplicado foi ambiental, a qual segundo Mach e Petschek (2007) fornece um brilho e uma coloração básicos na cena 3D. A iluminação, como observado por Schmidt (2012), é um parâmetro de difícil modelagem e controle, tanto como o

sombreamento interferem na percepção das outras variáveis visuais, por isso, a aplicação destes aspectos visuais é sensível e a representação tem que ser considerada como um todo na hora da verificação.

O sombreamento não foi possível de ser verificado devido à inexistência de sombras nos ambientes representados. As características dos ambientes amostrais, o resultado do levantamento com o Kinect e, o processamento de detecção de planos nas nuvens de pontos não permitiram definir elementos de pequeno porte, que poderiam gerar sombras quando aplicado um efeito de iluminação na cena. As sombras poderiam ser modeladas com técnicas computacionais atualmente existentes, mas este seria tema de outro trabalho de pesquisa.

O FOV, como aspecto de configuração da câmera, não foi determinante na simbolização 3D de ambientes *indoor*. Comprovou-se o observado por Schmidt (2012) que diz que não se identificaram evidências de que a mudança do ângulo do FOV entre 42° a 50° altere a percepção da cena. Este aspecto visual depende da localização dentro da cena do observador hipotético, portanto, está relacionado com a altura deste e o zoom com o qual enxerga os objetos. A ideia é simular a posição do observador como sendo o sensor Kinect durante a captura de dados, inclusive considerando a limitante de não conseguir detectar objetos além de aproximadamente cinco metros da sua posição. Portanto, a configuração da câmera nestas condições não foi determinante para detectar diferenças nas representações criadas. Pode-se recomendar o uso de um ângulo em torno dos 45° já que produz menos distorção nos objetos representados, tendo presente que quanto mais perto do 0° ele perde a sensação perspectiva e quanto mais se aproxima dos 90° os elementos são alongados perdendo sua definição.

Como pode ser visto no resumo da verificação do uso das variáveis visuais apresentado no item 4.2.4 deste trabalho, o ambiente amostral 1 mostrou-se menos favorável à aplicação do método proposto pois seus planos não estavam completamente definidos e a nuvem de pontos original continha poucos dados. Sendo um ambiente com praticamente um só plano representável, o processo de verificação tornou-se complicado, resultando numa representação visualmente pobre. O contrário aconteceu com o ambiente amostral 3, o mesmo que continha sete planos e favoreceu a implementação do método proposto. Entretanto, um aspecto positivo de se ter considerado o ambiente amostral 1 para o processo de verificação desta pesquisa foi a possibilidade de aplicação de textura como padrão

estruturado, aspecto que não foi possível de ser realizado nos outros ambientes devido às limitações dos softwares para lidar com superfícies com grande quantidade de vértices e polígonos.

Pode-se concluir que o objetivo geral desta pesquisa foi atingido ao ser verificado o uso de alguns parâmetros que definem os aspectos considerados influentes na criação e proposta de simbologia 3D para ambientes *indoor*. Cabe reforçar a interessante opção que os sensores RGB-D representam para a geração de modelos de superfícies tridimensionais e o seu potencial para criar insumos aptos para a produção de cartografia *indoor*. Salienta-se a realização de pesquisas que possam dar continuidade a esta linha de pesquisa e busquem aproximar cada vez mais as modernas tecnologias de levantamento de dados geográficos com técnicas inovadoras de mapeamento.

Um aspecto interessante de ser estudado e implementado em softwares de tipo SIG é uma rotina computacional que permita definir cores como simbologia de feições pontuais com valores RGB levantados pelo sensor Kinect e armazenados como atributos em campos da tabela de uma camada vetorial. Isto exploraria o potencial do sensor e ligaria uma técnica de levantamento sofisticada com um ambiente SIG de gestão de dados geográficos.

O estudo de técnicas que possam melhorar a visualização das representações, como por exemplo, o uso de filtros para suavizar as superfícies reconstruídas, permitirá refinar o visual dos ambientes simbolizados. Estas superfícies contém ondulações que podem ser reduzidas se aplicado um ajustamento por mínimos quadrados para obter uma superfície plana com características que favoreçam, por exemplo, a aplicação de texturas fotorealísticas. Este processo preferencialmente deve ser realizado antes da aplicação de simbologia para então diminuir o tempo de processamento na aplicação das variáveis. No caso desta pesquisa, comprovou-se o consumo excessivo de tempo para processar nuvens com grande quantidade de pontos ao aplicar o algoritmo de reconstrução de superfícies APSS.

Sugere-se realizar estudos que considerem sensores RGB-D para o levantamento de dados de ambientes *indoor* e a posterior aplicação de simbologia por meio do padrão CityGML, o qual é considerado um valioso aporte recente para a comunidade científica. Este padrão definido pela OGC tem demonstrado ter um interessante potencial para a simbolização de ambientes *indoor*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, E.; CONCI, A. **Computação Gráfica: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro. Editora Elsevier, 2003.

BALLARD, D.H. **Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes**. Pattern Recognition 13, 2, 1981.

BANDROVA, T. **Designing of Symbol System for 3D City Maps**. In: 20th INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE, Beijing, 2001.

BANDROVA, T. **Innovative Technology for the Creation of 3D Maps**. Data Science Journal, Volume 4, 31 de agosto de 2005.

BERTIN, J. **Graphics and Graphic Information Processing**. Translated by William J.Berg and Paul Scott. Walter de Gruyter, Berlin, 1981.

BODUM, L. Modelling Virtual Environments for Geovisualization: A Focus on Representation. In: DYKES, J.; MACEACHREN, A.M; KRAAK, M.-J. (Ed.). **Exploring Geovisualization**, Elsevier Ltd., 2005. p. 389-402.

BORRMANN, D.; ELSEBERG, J.; LINGEMANN, K.; NÜCHTER, A. **The 3D Hough Transform for Plane Detection in Point Clouds: A Review and a New Accumulator Design**. Springer, 3D RES. 2, 02(2011)3.

BREWER, C.; HARROWER, M.; SHEESLEY, B.; WOODRUFF, A.; HEYMAN, D. **ColorBrewer (v2.0): Color Advice for Cartography**; Design and Rebuilding version by Axis Maps LLC. 2009. Aplicativo on-line, disponível em: <http://colorbrewer2.org/>

BROWN, G.; NAGEL, C.; ZLATANOVA, S.; KOLBE, T. Modelling 3D Topographic Space Against Indoor Navigation Requirements. In: POULIOT, J. *et al.* (Ed.). **Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences: Lecture Notes in Geoinformation and Cartography**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p. 1-22.

CARPENDALE, M.S.T. **Considering Visual Variables as a Basis for Information Visualisation**. In: IEEE SYMPOSIUM ON INFORMATION VISUALIZATION (INFOVIS), 1997.

CIGNONI, P.; Ranzuglia, G. **MeshLab, the mesh processing system for 3D scanning and printing**. Recurso on-line em: <http://sourceforge.net/projects/meshlab/>. Acesso em: 05/05/2014.

CityGML: Exchange and Storage of Virtual 3D City Models, Resources Section. Publicado em 2012. Disponível em: <http://www.citygml.org/index.php?id=1539>. Acesso em: 04/10/2014.

DESCHAUD, J.; GOULETTE, F. **A Fast and Accurate Plane Detection Algorithm for Large Noisy Point Clouds Using Filtered Normals and Voxel Growing**. 2010. Disponível em: <http://www.visionbib.com/bibliography/describe440.html#TT48157>. Acesso em: 02/09/2013

DÖLLNER, J. Geovisualization and Real-Time 3D Computer Graphics. In: DYKES, J.; MACEACHREN, A.M; KRAAK, M.-J. (Ed.). **Exploring Geovisualization**, Elsevier Ltd., 2005. p. 325-343.

DYKES, J.A.; MOORE, K.E.; AIRBAIRN, D. **From Chernhoff to Imhof and beyond: VRML and cartography**. In: 4th ACM SIGGRAPH SYMPOSIUM ON THE VIRTUAL REALITY MODELING LANGUAGE, Paderborn, Germany, 99-104, 1999.

FAIRBAIRN, D.; ANDRIENKO, G.; ANDRIENKO, N.; BUZIEK, G.; DYKES, J. **Representation and Its Relationship with Cartographic Visualization: A Research Agenda**, Cartography and Geographic Information Science – CaGIS, Vol.28 No.01, p.p. 1-29, 2001.

FERWERDA, J. **Three Varieties of Realism in Computer Graphics**. In: SPIE HUMAN VISION AND ELECTRONIC IMAGING, 2003

FISCHLER, M.; BOLLES, R. **Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography**. Communications of the ACM 24, 381-395. 1981.

FOLEY, J.; VAN DAM, A.; FEINER, S.; HUGHES, J. **Computer Graphics: Principles and Practice**. 2. Ed. Addison-Wesley Publishing Company, 1990. Reprinted 1993.

FOSSE, J. **Avaliação da Simbologia e da Orientação Geográfica para as Representações Cartográficas Tridimensionais**. 105 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

FOSSE, J.; CENTENO, J; SLUTER, C. Estudo da Simbologia como Elemento da Linguagem Cartográfica para a Representação Tridimensional, **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, Curitiba, v.15, no.3, p.313-332, jul-set, 2009.

FREEDMAN, B.; SHPUNT, A.; MACHLINE, M.; ARIELI, Y. **Depth Mapping Using Projected Patterns**. Prime Sense Ltd., Tel Aviv, IL. Disponível on-line: <http://www.freepatentsonline.com/y2010/0118123.html>. Acesso em: 02/09/2013.

GOOGLE INC. **INDOOR GOOGLE MAPS**: Mission College helps students find their way with indoor Google Maps. 2012. Disponível em: http://static.googleusercontent.com/external_content/untrusted_dlcp/maps.google.co

m/pt-BR//help/maps/indoormaps/assets/casestudies/missioncollege-cs-20120516-v4.pdf. Acesso em: 01/11/2013.

GUENNEBAUD, G.; GROSS, M. **Algebraic Point Set Surfaces**. The 34th International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques - Siggraph. San Diego, California, USA. 2007

HÄBERLING, C. **3D Map Presentation** – A Systematic Evaluation of Important Graphic Aspects. In: INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC ASSOCIATION (ICA) MOUNTAIN CARTOGRAPHY WORKSHOP "MOUNT HOOD", Timberline Lodge, Mt. Hood, Oregon, May, 15-19, 2002.

HÄBERLING, C. **Topografische 3D-Karten**. Dissertação (Doutorado - Thesen für kartografische Gestaltungsgrundsätze) - Institut für Kartographie der ETH, Zürich, Suíça, 2004.

HÄBERLING, C; BÄR, H.; HURNI, L. Proposed Cartographic Design Principles for 3D Maps: A Contribution to an Extended Cartographic Theory. **Cartographica**, n. 43, 14, 2008.

HENRY, P.; KRAININ, M.; HERBST, E.; REN, X.; ANDFOX, D. **RGB-D mapping**: Using depth cameras for dense 3D modeling of indoor environments. Proceedings of the International Symposium on Experimental Robotics, 2010.

HURNI, L.; HÄBERLING, C.; KRIZ, K. **Mountain Cartography: State-of-the-art and Current Issues**. In: 21st INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE (ICC), "CARTOGRAPHIC RENAISSANCE". Durban, South Africa, 10 - 16 August 2003.

IFIXIT, Creative Commons. **Microsoft Kinect Teardown**. 2010. Disponível em: <http://www.ifixit.com/Teardown/Microsoft+Kinect+Teardown/4066/1>.

IMHOF, Eduard. **Cartographic Relief Presentation**. Walter de Gruyter & Co. Publishers. 1982.

KHOSHELHAM, K.; ELBERINK, S.O. Accuracy and Resolution of Kinect Depth Data for Indoor Mapping Applications, **Sensors, Open Access Journal** - ISSN 1424-8220, Vol. 12, p. 1437-1454, 2012.

KIM, Y.; MITRA, N.; YAN, D.; GUIBAS, L. **Acquiring 3D Indoor Environments with Variability and Repetition**. ACM Trans. Graph. 316, Article 138, November 2012.

KONING, R. **Where am I?**. WAYFINDERSOFTWARE BLOG. Publicado 25 de abril de 2011. Disponível em: <http://blog.wayfindersoftware.com/wayfinding-design-content/>. Acesso em: 10/10/2013.

KONOLIGE, K.; MIHELICH, P. **Kinect operation**. Disponível em: http://wiki.ros.org/kinect_calibration/technical. Acesso em: 21/10/2013.

KRAAK, M.J. **Computer-assisted Cartographical Three-dimensional Imaging Techniques**. Delft University Press, Delft. 1988. Disponível em: <http://mapcontext.com/autocarto/proceedings/auto-carto-london-vol-1/pdf/computer-assisted-cartographic-three-dimensional.pdf>. Acesso em: 10-07-2013.

KRAAK, M.J.; ORMELING, F. **Cartography: Visualization of Spatial Data**. 3. Ed. Pearson Education Limited. 2010

MacEACHREN, A.M. **How Maps Work: Representation, Visualization and Design**. New York: Guilford, 1995.

MACH, R; PETSCHKE, P. **Visualization of Digital Terrain and Landscape Data: A Manual**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Lighting 123-149. 2007.

MEHRANFAR, M. **Indoor Modelling Using RGB-D Data**. 47f. Dissertação (Master of Geo-Information Science and Earth Observation) – Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation – University of Twente, Holanda, 2013.

MESHLAB; Visual Computing Lab – ISTI - CNR; Disponível em: <http://meshlab.sourceforge.net/>; v1.3.2 (agosto 2012).

MICROSOFT KINECT FOR WINDOWS. Especificações do produto. Disponível em: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/discover/>. Acesso em: 02/09/2013

MISTER P.; **MeshLab Tutorials**; Recurso on-line em: <https://www.youtube.com/user/MrPMeshLabTutorials/featured>

MONTELLO, D.R. **Cognitive Map-Design Research in the Twentieth Century: Theoretical and Empirical Approaches**. Cartography and Geographic Information Science. V 29. N3. pp 283-304. 2002.

NASIR, A.K.; HILLE, C.; ROTH, H. **Plane Extraction and Map Building Using a Kinect Equipped Mobile Robot**. In: WORKSHOP ON ROBOT MOTION PLANNING: ONLINE, REACTIVE, AND IN REAL-TIME, IEEE/RSJ INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS, IROS 2012.

NOSSUM, A. **Developing a Framework for Describing and Comparing Indoor Maps**. In: 26th INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE – ICC2013.

OPENCV: OPEN SOURCE COMPUTER VISION. Disponível em: <http://opencv.org/>. Acesso em: 15/10/2013.

PEGG, D. **Design Issues with 3D Maps and the Need for 3D Cartographic Design Principles**. In: 24th INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE, Santiago de Chile, 2009.

PCL: POINT CLOUD LIBRARY. Disponível em: <http://pointclouds.org/>. Acesso em: 15/10/2013.

PETROVIČ, D. **Cartographic Design in 3D Maps**. In: 21st INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE "CARTOGRAPHIC RENAISSANCE", Durban, South Africa, 2003.

PETROVIČ, D; MAŠERA, P. **Analysis of User's Response on 3D Cartographic Presentations**. In: 7th MEETING OF THE ICA COMMISSION ON MOUNTAIN CARTOGRAPHY, Bohinj, Slovenia. 2004

PINKER, S. **Como a Mente Funciona**. 2009. Tradução de Laura Teixeira Motta. Companhia das letras. 3ª edição. 1ª reimpressão. ISBN 978-85-7164-846-3. 2013.

PRIMESENSE. Disponível em: <http://www.primesense.com>. Acesso em: 21/06/2013.

SANTIL, F. L. DE P. **Análise da percepção das variáveis visuais de acordo com as leis da gestalt para representação cartográfica**. (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SANTOS, D.R.; DELAZARI, L.; AMORIM, A.; KHOSHELMAN, K. **Mapeamento 3D de ambientes internos usando câmeras RGBD (KINECT)**, Projeto de Pesquisa financiado pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento – CNPq, 2013.

SCHMIDT, M. **Uso de Mapas 3d para Navegação Virtual: Uma Abordagem Cognitiva**. 231 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SESTER, M. **3D Visualization and Generalization**, Photogrammetric Week 2007, Stuttgart, Germany, 2007.

SHAO, T.; XU, W.; ZHOU, K.; WANG, J.; LI, D.; GUO, B. An Interactive Approach to Semantic Modeling of Indoor Scenes with an RGBD Camera. **ACM Trans. Graph.** 31 6, Article 136. November 2012.

SILBERMAN, N.; FERGUS, R. **Indoor scene segmentation using a structured light sensor**. In: COMPUTER VISION WORKSHOPS (ICCV WORKSHOPS), IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE, p.p. 601-608, 2011.

SLOCUM, T.A.; McMASTER, R.B.; KESSLER, F.C.; HOWARD, H.H. **Thematic Cartography and Geographic Visualization**. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2009.

TERRIBILINI, A. **Entwicklung von Arbeitsabläufen zur automatischen Erstellung von interaktiven, vektorbasierten topographischen 3D-Karten**. Dissertação (Doutorado - Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich) - Institut für Kartographie der ETH, Zürich, Suíça, 2001.

WEI, Y.; JI, G.; HOU, S.; CHEN, Y. **Research on 3D symbolic representation of geographical information**. In: 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOINFORMATICS, Beijing, 18-20 june 2010.

ZHOU, P.; ZHENG, Y.; LI, Z.; LI, M.; SHEN, G. **IODetector: A Generic Service for Indoor Outdoor Detection**. In: SENSYS'12, Toronto, ON, Canada, November 6–9, 2012.

ZULIANI, M.; KENNEY, C.S.; MANJUNATH, B.S. **The multiRANSAC algorithm and its application to detect planar homographies**. In: ICIP - IEEE International Conference on Image Processing. Volume 3. p.p. III-153-6. 2005.